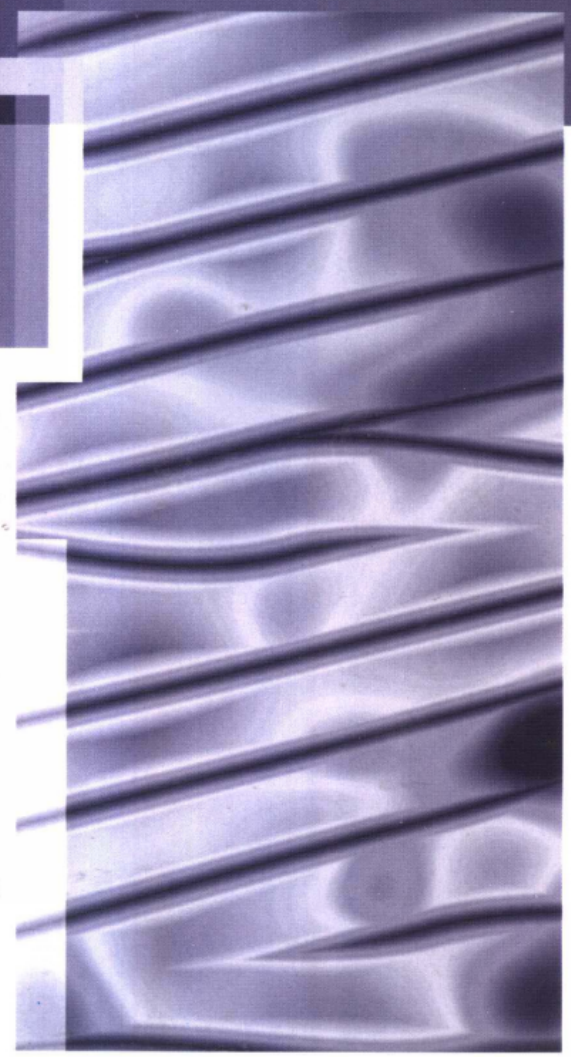
制浆造纸实用技术丛书

制浆造纸设备管理与维护

张宏　杨军　编著



化学工业出版社

制浆造纸实用技术丛书

新型高档特种纸技术
现代制浆造纸技术
制浆造纸工业清洁生产工艺和技术
制浆造纸化学助剂应用指南
制浆造纸分析与检测
制浆造纸设备管理与维护
现代纸板技术
制浆造纸过程测控系统及工程

ISBN 7-5025-4933-1

9 787502 549336 >

ISBN 7-5025-4933-1/TS·132 定价：28.00元

销售分类建议：轻工/造纸与纸制品
机械/专用机械/造纸机械

制浆造纸实用技术丛书

制浆造纸设备管理与维护

张 宏 杨 军 编著

化 学 工 业 出 版 社
·北 京·

（京）新登字 039 号

图书在版编目（CIP）数据

制浆造纸设备管理与维护/张宏，杨军编著．—北京：化学工业出版社，2003.12
（制浆造纸实用技术丛书）
ISBN 7-5025-4933-1

Ⅰ.制… Ⅱ.①张…②杨… Ⅲ.①制浆设备-设备管理②造纸机械-设备管理③制浆设备-维修④造纸机械-维修 Ⅳ.TS73

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2003）第 105427 号

制浆造纸实用技术丛书
制浆造纸设备管理与维护
张 宏 杨 军 编著
责任编辑：路金辉
文字编辑：王清颢
责任校对：李 林
封面设计：潘 峰

*

化学工业出版社出版发行
（北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029）
发行电话：（010）64982530
http://www.cip.com.cn

*

新华书店北京发行所经销
北京云浩印刷有限责任公司印刷
三河市宇新装订厂装订
开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 13 字数 315 千字
2003 年 12 月第 1 版 2003 年 12 月北京第 1 次印刷
ISBN 7-5025-4933-1/TS·132
定 价：28.00 元

版权所有 违者必究
该书如有缺页、倒页、脱页者，本社发行部负责退换

丛书序言

随着文化和信息产业的飞速发展，当代的造纸工业在全世界产业中的位置已变得越来越重要。在一些发达国家，造纸工业已成为基础产业，并且是和林业不可分割、互相促进的产业。1995年，全球造纸工业总销售额2600亿美元，资产4000亿美元，行业排序位居电信制造业和汽车工业之后，超过了钢铁工业和航天工业。

造纸工业是一个与国民经济发展和社会文明建设息息相关的重要产业。在经济发达国家，纸及纸板消费量增长速度与其国内生产总值增长速度同步。造纸工业在现代经济中所发挥的作用已越来越多地引起世人瞩目，被国际上公认为“永不衰竭”的工业。现代制浆造纸工业的特点不同于一般日用消费品工业，它是技术密集、资金密集、资源消耗量大、产生污染物多的工业，它是规模效益显著、连续、高效生产的基础原料工业。在其产品总量中，80%以上作为生产资料用于新闻、出版、印刷、商品包装和其他工业领域，不足20%用于人们的直接消费。造纸产业关联度大，涉及林业、农业、机械制造、化工、电气自动化、热电、交通运输、环保等产业，对上下游产业的经济有很强的拉动作用。当今世界各国已将纸及纸板的生产和消费水平，作为衡量一个国家现代化水平和文明程度的重要标志之一，也是衡量一个国家基本国力的重要标志之一。

中国是一个造纸大国，但不是一个造纸强国。1997年中国纸和纸板产量为2744万吨，在世界排名榜上位居美国和日本之后，居第三位，但人均纸和纸板消费量只有26.5kg，仅相当于世界平均水平的一半，与美国的334.6kg相差甚远，仍为发展中国家水平。2002年中国纸和纸板总产量和总消费量均居世界第二位，分别达到3780万吨和4332万吨，但人均消费量还很落后，2002年仅33kg，仍远低于世界人均55kg/(人·a)的水平，与发达国家200～300kg/(人·a)相比，差距甚大。中国造纸工业是目前轻工业中为数不多的供不应求行业，全国每年要花费近50亿美元进口造纸产品。据有关部门预测，2015年中国纸和纸板的总产量将达到6000～6500万吨，消费量将超过8500万吨，人均消费量将达到52～55kg/(人·a)。所以中国制浆造纸工业的发展前景是广阔的，纸和纸板的市场潜力是巨大的。鉴于此，世界上有关制浆造纸工业的设备公司、化学品公司、电气自动化公司、投资公司也纷纷进入中国市场，欲在中国纸和纸板市场大展鸿图。

近几年来，国际制浆造纸技术发展很快。通过引进、消化和吸收国外先进的造纸技术，中国的造纸工业得到了突飞猛进的发展。但中国造纸工业存在着原材料短缺、资源和能源消耗量大、生产效率普遍不高、污染严重等问题，关键是技术（包括工业技术、装备和自动化技术）比较落后。2001年中国造纸工业污水排放量为3500Mt/a，占全国工业污水排放量的近20%，而主要污染物COD的排放量为2880kt/a，占到全国工业污水COD排放量的40%，可以看出，中国造纸工业污染相当严重。如不能加速采用高新技术，不断淘汰落后生产力，中国的造纸工业是没有出路的。但作为资金和技术密集型的现代造纸工业，采用高新技术所需投入的资金大多很高。对老企业进行应用高新技术改造的费用也是相当巨大的。因此在经济上不能不根据中国国情，对不同企业类型与客观条件加以区别对待，需要全面考虑企业的规模、资源、环境、市场、效益等具体条件，有针对性地对高新技术的选择及采用步骤进行

周密思考与安排，避免盲目性，以求得较好的实际效果。中国造纸工业必须有计划、有步骤地千方百计大力采用高新技术，以进行清洁生产，节约自然资源，提高生产效率，提高国际市场的竞争力，保持本行业顺利持续地发展。

几十年来，中国造纸工作者为提高制浆造纸科学技术水平进行了不懈的努力，取得了可喜的成果。本套制浆造纸实用技术丛书就是众多成果中的一个。

本套丛书共8本，分别是《新型高档特种纸技术》、《现代制浆造纸技术》、《制浆造纸工业清洁生产工艺和技术》、《制浆造纸化学助剂应用指南》、《制浆造纸分析与检测》、《制浆造纸设备管理与维护》、《现代纸板技术》、《制浆造纸过程测控系统及工程》。

本套丛书凝聚了陕西科技大学制浆造纸工程学科的教师和科研人员多年的心血，是集体智慧的结晶。陕西科技大学制浆造纸工程学科坚持理论与实践相结合的科研思想，注重科研成果的转化，在造纸新产品研制、造纸化学品开发、造纸过程控制及制浆造纸污染控制等领域取得了许多独具特色的成果，并大量应用于实际生产，产生了显著的经济效益和社会效益，为国民经济的发展做出了很大的贡献。已经形成了基础研究和应用研究并重，注重成果转化，一切为经济建设服务的特色。本套丛书即是以上特色的具体体现，其中的部分技术内容是陕西科技大学制浆造纸工程学科拥有知识产权的。希望这套丛书对广大制浆造纸企业的技术进步、产品结构调整有所帮助。也希望通过这套丛书把陕西科技大学和全国制浆造纸企业更加紧密地结合起来，互相促进，共同为中国造纸工业的发展做出贡献。

张美云

2003年8月于咸阳

前　言

目前，我国制浆造纸工业规模、技术和装备等已有较大的改善，但大多数中、小型造纸厂设备技术水平低下，这种情况已成为我国造纸工业赶超国际先进水平的制约因素。而设备管理与维护水平落后是造成设备技术水平低下的根本原因。为改善这种情况，作者根据多年科研工作、工程项目的经验，以及对制浆造纸设备综合管理、制浆造纸设备的故障监测和诊断应用方面的考虑及总结撰写此书。

本书介绍了最新的设备管理知识，包括可靠性维修性工程、系统工程、寿命周期费用，及设备的故障监测和诊断理论。并介绍了制浆造纸工厂采用设备综合管理的具体方法，包括制浆造纸设备的前、中、后期综合管理及其案例分析。

本书适合造纸企业的专业技术人员以及大专院校的制浆造纸工程、过程装备与控制（制浆造纸方向）专业的学生使用，也可作为制浆造纸企业职工培训教材。本书由张宏、杨军编写，张宏主编。其中，杨军编写第4章、第7章，张宏编写其余章节及附表、附录等。

本书在编写过程中承蒙杨建桥教授、张美云教授、王志杰教授、张光华教授、李新平教授、李策高级工程师、陈汛武高级工程师等有关专家、教授分别审阅，王海毅博士、李策高级工程师、余俊骅工程师、朱幼浩高级工程师、吴义荣高级工程师提供了部分参考资料，在此一并表示衷心地感谢。

由于编写人员业务水平有限，书中难免会有错误和不妥之处，恳请读者和同行专家给予批评指正，以臻再版时修改完善。

张宏

2003年8月

目　录

第 1 章　总论 …… 1
1.1　设备与设备综合管理 …… 1
1.1.1　概述 …… 1
1.1.2　设备综合管理 …… 2
1.2　国外设备管理科学的进展情况 …… 4
1.2.1　设备管理的发展 …… 4
1.2.2　现代设备管理思想的产生 …… 5
1.2.3　国外设备管理科学的进展 …… 8
1.3　我国设备管理的主要目标和任务 …… 15
第 2 章　设备综合管理的方法 …… 18
2.1　系统工程 …… 18
2.2　设备的寿命周期费用评价法 …… 19
2.2.1　寿命周期费用评价法的基础 …… 20
2.2.2　评价设备寿命周期费用的方法 …… 21
2.2.3　寿命周期费用评价法实例（作业用工具车的选定） …… 32
2.3　可靠性维修性工程 …… 36
2.3.1　可靠性工作的基本内容及一般程序 …… 37
2.3.2　可靠性工程的基本理论 …… 38
2.3.3　维修性原理 …… 51
2.3.4　可靠性维修性设计 …… 52
2.3.5　设备的可靠性试验 …… 55
2.3.6　故障效应分析与失效树分析 …… 58
第 3 章　设备的故障监测和诊断理论 …… 62
3.1　故障诊断的基本理论 …… 62
3.2　信号分析基础 …… 65
3.2.1　信号的测量、传输及分类 …… 65
3.2.2　信号的时域分析 …… 66
3.2.3　信号的频域分析 …… 70
3.2.4　模拟信号分析 …… 72
3.2.5　数字信号分析 …… 75
3.2.6　频率细化分析技术 …… 77
3.3　故障诊断实例 …… 78
3.3.1　1760 纸机轴承故障监测与诊断研究 …… 78
3.3.2　纸张的缺陷检测技术和方法研究 …… 80
第 4 章　制浆造纸设备的前期管理 …… 84

4.1 制浆造纸设备管理组织机构的设置…… 84
4.1.1 管理人员的配备和素质要求…… 84
4.1.2 设备维修的组织形式…… 85
4.2 制浆造纸设备的规划与选型…… 87
4.3 设备的分类、编号和建档…… 88
4.4 制浆造纸设备的安装、验收及使用初期管理…… 90
4.4.1 安装和验收管理…… 90
4.4.2 制浆造纸设备的初期管理…… 92
4.5 制浆造纸企业的前期管理工作实例…… 92
第5章 制浆造纸设备的中期管理 …… 96
5.1 制浆造纸设备的使用守则和规程…… 96
5.1.1 制浆造纸设备使用守则…… 97
5.1.2 设备操作规程…… 98
5.2 设备的维护保养…… 98
5.3 设备的日常和定期检查…… 99
5.4 制浆造纸设备的润滑管理 …… 101
5.4.1 设备润滑管理的目的和任务 …… 101
5.4.2 润滑管理的体制与职责 …… 102
5.4.3 制浆造纸设备的润滑材料及其选用 …… 104
5.4.4 设备的润滑方式与润滑装置 …… 106
5.4.5 润滑材料的消耗与回收再生处理 …… 108
5.4.6 设备的润滑故障及预防措施 …… 110
5.5 制浆造纸厂设备操作规程实例 …… 110
5.5.1 1号生产线打浆工段操作规程 …… 111
5.5.2 1号生产线造纸工段操作规程 …… 111
5.5.3 2号生产线浆料准备岗位 …… 118
第6章 制浆造纸设备的后期管理…… 122
6.1 制浆造纸设备的检修 …… 122
6.2 制浆造纸设备故障管理 …… 122
6.3 设备的事故管理 …… 124
6.4 制浆造纸设备的检修方式和体制 …… 126
6.4.1 检修的基本方式及其选择 …… 126
6.4.2 制浆造纸设备的维修管理制度 …… 127
6.4.3 制浆造纸机械设备修理的各种定额安排 …… 128
6.5 设备的报废条件和鉴定审批 …… 130
6.6 设备检修周期与结构的确定 …… 132
6.6.1 合理确定检查期限 …… 132
6.6.2 设备修理周期的确定方法 …… 133
6.6.3 制浆造纸设备的检修周期 …… 135
6.7 设备修理计划的编制和执行 …… 137

6.8 制浆造纸设备检修的实际内容 …… 140
6.8.1 制浆造纸专业设备一级、二级保养及中修、大修内容 …… 140
6.8.2 设备完好的考核办法 …… 156
6.8.3 设备完好率计算公式 …… 156
第7章 制浆造纸设备的更新和改造管理 …… 157
7.1 设备的磨损形式 …… 157
7.2 经济寿命的确定方法 …… 160
7.2.1 最大总收益法 …… 160
7.2.2 最小年均费用法 …… 161
7.2.3 劣化数值法 …… 162
7.3 制浆造纸设备大修及技术改造的技术经济分析 …… 163
7.3.1 制浆造纸设备大修的技术经济分析 …… 163
7.3.2 制浆造纸设备技术改造的技术经济分析 …… 164
7.3.3 制浆造纸设备技术改造的工作程序 …… 165
7.4 制浆造纸设备更新经济、技术分析及更新计划的编制、实施 …… 167
7.4.1 制浆造纸设备更新的技术性分析 …… 168
7.4.2 制浆造纸设备更新的经济性分析 …… 168
7.4.3 制浆造纸设备更新计划的编制和实施 …… 169
7.5 制浆造纸专用设备修理复杂系数及其计算 …… 171
7.5.1 修理复杂系数 …… 171
7.5.2 制浆造纸专用设备修理复杂系数的计算 …… 174
7.5.3 制浆造纸设备修理复杂系数计算举例 …… 176
附表 …… 181
附录 设备振动诊断标准 …… 190
主要参考文献 …… 196

第1章 总 论

1.1 设备与设备综合管理

1.1.1 概述

设备是指在企业生产中可供长期反复使用并基本保持其原有实物形态的各种劳动手段（工具的延伸）的总称。如企业中通常使用的机床、仪器、运输工具、动力设施等。

（1）设备是固定资产的组成部分 固定资产即指重复参与多次生产过程而保持其实物体形态和原有功能基本不变的劳动资料，它们的价值在生产过程中逐渐消耗而转移到产品价值中去。一般机器、厂房、建筑、运输工具等即称为固定资产。

一般应同时具备以下两个条件的劳动资料才能划为固定资产。

① 使用期限在一年以上。

② 单位价值在一定限额以上（一般规定小型企业为200元，中型企业为500元，大型企业为800元）。在限额以下的劳动资料如工具、器具、仪表等只能划为低值易耗品。

但也有特殊情况，如被服厂的缝纫机等主要生产设备，单位价值虽低于限额，也应列为固定资产。而对于使用年限较短的某些专用夹具、模具和容器等，虽符合固定资产条件，也应列入低值易耗品。

（2）设备是企业生产的重要物质技术基础 设备是进行简单再生产和扩大再生产的重要物质技术基础。设备的技术状态和工艺装备的质量，对企业生产产品的数量，质量和其他一系列技术、经济指标都有密切的关系。因此，管好企业的设备，使之经常处于完好的技术状态，具有十分重要的意义。

（3）现代设备的特点 设备发展经历了以手工为主的生产，机器生产以及高度现代化设备的大生产等不同阶段。

设备的现代化程度和技术水平，集中地反映了一个企业的技术实力和一个国家的国力。而衡量一个国家现代化的程度，也往往看其设备、装备的技术水平和潜在能力。当今发达国家的标志是人造卫星、宇宙飞船和航天飞机、核电站、电子计算机、数控机床、汽车、生物工程等的水平和拥有量。

（4）现代设备的特点 大型化或超小型化、高速化、功能高级化、连续化、自动化、复杂化。

从造纸业的发展看，发达国家的造纸厂规模日益扩大，年产量达几十万吨到上百万吨，纸机也日益大型化、高速化和自动化，大型纸机的造纸宽度已超过10m，车速超过2000m/min，使用电子计算机对纸机的运行状态进行监控，产品的质量高、原材料和能量消耗少、环境污染也很少。

我国造纸业中，规模较大的纸厂数量较少，有些纸厂引进了国外的造纸设备，生产能力有较大的提高，如金东纸厂的大型高速纸机，造纸宽度在9m以上，车速达1800m/min，并配备有定量、水分在线检测和自动控制系统，产量达200t/d以上，技术水平和经济效益均较高。

但大多数中小型造纸厂，装备技术水平较低，纸机大多为小型、低速和人工操作，产品质量次、原材料和能量消耗大、环境污染严重、经济效益较差，这就是我国造纸工业设备技术水平的实际情况。这种设备技术水平落后的局面已成为制约我国造纸工业赶超国际先进水平的主要因素，而设备管理水平的落后低下，又是造成设备技术水平落后的根本原因之一。

1.1.2 设备综合管理

(1) 设备综合管理的含义　设备综合管理（简称设备管理）就是根据企业的生产经营目标，采取一系列技术、经济和管理措施，对企业的设备从计划、研究、设计、制造、购置、安装调试、使用、维修、改造直至报废的全过程进行综合管理，追求并达到设备综合效率最高和寿命周期费用最低的目标。

设备运动的全过程中有两种运动形态：一是设备的物质运动形态，包括设备的研究、设计、制造、选购、验收、安装、使用、改造及报废等，相应的管理称为设备的技术管理；二是设备的价值运动形态，包括设备的投资、折旧、维修保养费用的支出和核算、更新改造资金的筹措和设备经济效果的分析等，相应的管理称为设备的经济管理。由此可见，设备的综合管理应是“人、财、物”的结合和“技术、经济、管理”的结合。

(2) 设备管理的重要意义

① 设备管理水平是一个国家的工业现代化程度的标志。考察一个国家的工业现代化程度，最主要的指标就是这个国家技术水平以及企业对设备和装备的管理水平。

据统计，我国工矿企业、交通运输业的总体设备利用率仅为 40%～50%，处于较低的水平。加强企业的设备管理，可大大提高现有设备的利用率和技术水平，从而大大提高国民经济的生产能力和经济发展速度，为国家制造巨大的物资财富，又不必增加额外投资。

② 设备管理是一个企业赖以生存和发展的基础。合理地选购和使用设备，是企业经营成功的重要保证。在一般工业企业中，各种机械设备在固定资产总值中的比重约占 60%以上，是工业企业生产的物质基础。设备的技术状态直接影响企业生产过程各环节之间的协调配合，如不重视设备管理，设备保养不良，短期内能使设备生产效率下降或造成意外故障损失；长期设备失修，将使设备的损耗得不到及时补偿，引起设备事故或提前报废。现代制浆造纸企业设备的自动化程度高，生产连续性强，生产的正常主要依赖于设备良好的技术状况，一台关键设备的停机可以使整条生产线停产从而给企业造成巨大的经济损失，从这个意义上来说，设备管理工作是整个企业生产顺利进行的前提。

③ 设备管理是企业安全生产和环境保护的保证。一个企业设备事故和人身事故的性质和发生次数也反映出这个企业设备管理工作的好坏。同时，管理好产生三废和处理三废的设备，保持其良好的技术状况也有利于减少企业对外部的环境污染。

④ 设备管理还可促进企业的技术进步和工业现代化。现代科技新成就往往迅速地应用于设备上，如 19 世纪电的应用和 20 世纪计算机技术的应用使生产设备发生了巨大的飞跃，从某种意义上讲现代生产设备是现代科学技术的结晶。另一方面，新型设备的出现又促进了新工艺、新材料和新产品的发展。

⑤ 设备管理是保证产品质量的基础工作。设备的技术先进程度和技术情况好坏是影响产品质量的主要因素之一，企业产品的质量直接受企业设备性能、精度、可靠性和耐久性的影响，稳定的高质量的产品依靠技术状态良好的高质量的设备来生产。

随着生产力的发展和科学技术的进步，生产活动的主体逐渐由人向设备转移（人的作用将主要表现在创造、革新和运用新的生产工具和设备方面，而具体生产操作则将逐渐由自动

化程度越来越高的先进设备来承担），企业中直接参加生产操作的人员相对减少，而从事维修和设备管理的人员比例越来越大，设备管理工作的重要性也将越来越突出。

（3）设备管理与企业中其他管理部门的关系　企业管理包括生产管理、计划管理、工业技术管理、物资供应管理、劳动人事管理、质量管理、财务管理、设备管理等许多方面，其中设备管理与其他方面的管理有十分密切的关系。

生产计划必须通过设备的正常运行来实现；物资材料通过设备的运行转化成产品或消耗掉；先进的工艺技术和产品的高质量要通过设备良好的技术状态来保证，设备的购置、维持和技术改造需要财务部门等筹措资金，而设备的运行又为企业创造了大量的商业利润；设备的合理使用，正确操作和维修依赖于对设备操作、维修和管理人员的劳动组织和技术培训。

（4）设备管理范围的划分

① 企业生产用的全部机械设备、动力设备（包括输送管道）和专用设备等由企业设备动力科负责管理。

② 企业生产用的各种仪器仪表、精密衡器、试验测试装置等一般由企业技术、技监科（或仪表室）负责管理。

③ 大型生产用的大型工具、夹具、机床附件、磨料等一般由企业工具科负责管理。

④ 交通运输设备（包括机车、汽车、汽车吊、坦克吊、船舶、拖拉机以及运输用的铁路、公路等）一般由企业的运输科（或供应科）负责管理。

⑤ 各种印刷设备、办公事务设备，如打字机、铸字机、铅印机、切纸机、计算机、照相机等；（或医疗卫生设备，如X光机、手术台等）一般由企业行政科（或卫生科）负责管理。

⑥ 各种消防设备一般由企业保卫科负责管理。

⑦ 其他不属上列的设备由企业自行确定主管部门负责管理。

⑧ 企业的房屋、构筑物（包括工房、船坞、烟囱）、围墙等由房产科或基建科负责管理。

（5）工业企业设备管理的主要内容　现代设备综合管理则强调对设备运动的全过程中各个主要环节都进行管理，这些主要环节如下。

① 设备的合理选购和评价。设备的选购和评价主要是依据技术上先进、经济上合理、生产上可行的原则，选择最优方案。一般从如下“八性”考虑选购。

生产性　指设备的效率，如功效、行程、速度等一系列技术参数。以提高设备的生产效率为内容。

可靠性　是指精度、性能的保持性，零件的耐用性，安全可靠性等。

维修性　即可维修性或易修性。维修性影响设备维修的工作量和费用。因此，维修性好的设备是指结构简单、零部件组合合理、可迅速拆卸、易于检查，零部件互换性强、做到标准化、通用化等。

耐用性　指设备在使用过程中所经历的自然寿命期要长。

节能性　指能源利用的性能。节能性好的设备表现为热效率、能源利用率高、能耗低。

环保性　指设备的噪音和排放的有害物质对环境的污染少。

成套性　指设备要配套。企业设备不配套，不仅机器性能不能充分发挥，而且经济上可能造成很大的浪费。

灵活性　指在工作对象固定的条件下，设备能适应不同的工作条件和环境，操作、使用

灵活方便；对于工作对象可变的加工设备，要求能够适应多种加工性能，通用性强。

② 设备的正确使用和维护。使用过程一般在设备的物质运动中所占时间最长，正确合理地使用设备，可以大大地减少设备的磨损和故障，能使设备保持良好的工作性能和应有的精度。因此要针对设备的特点，合理地安排生产任务，防止超负荷和拼设备现象的发生，并为正确地使用设备制定必要的规章制度。

机器设备是由操作工人使用的。因此，必须充分调动操作工人的积极性，管好、用好、修好设备，并采用多种形式把操作工人组织到设备管理中来，使设备管理建立在广泛的群众管理的基础之上。

设备的维护和检查是设备自身运动的客观需要。设备在使用过程中、物质的运动必然会产生技术状态的不断变化。如松动、干摩擦、声响异常、疲劳等。这些隐患，如果不及时检查、处理，就会造成设备的过早磨损。实践证明、设备的寿命很大程度决定于使用维护的好坏。因此，设备在投入运行后，使用部门要确保在使用时设备台台完好，均处于精良的技术状态之中。

③ 设备的科学检修。目前我国工业企业中设备管理方面工作量最大的是设备的检查和修理。设备的检查是对机器设备的运行情况、工作精度、磨损程度进行检查和校验，通过修理和更换已磨损、腐蚀的零部件，使设备的效能得到恢复。设备在修理之前，为了掌握设备的技术状态，就必须进行检查，然后决定采用什么样的维修方式。并能及时地查明和消除设备的隐患，针对检查中发现的问题，提出改善的措施。从而提高设备修理的质量，缩短修理周期和延长设备使用寿命。同时，逐步建立以设备状态为基础的维修方式。

④ 设备的更新改造。依据发展新产品和改革老产品的需要，有计划、有重点地对现有设备进行技术改造和更新，包括编制设备更新规划、方案，筹措更新改造资金，选购和评价新设备，合理处理老设备等。

⑤ 设备的安全经济运行。设备都要达到安全经济运行。特别是动力设备管理要贯彻安全、可靠、经济、合理的方针。为此，应健全岗位责任制，严格执行运行规程，加强巡回检查，保证动力设备安全正常运行，防止和杜绝跑冒滴漏，做好节能工作。锅炉、压力容器、压力管道和防爆设备，应严格按照国家颁发的有关规定使用，定期检测和维修。水、气、电、蒸汽的生产和使用，都要制定各类消耗定额，严格实行经济核算。

1.2 国外设备管理科学的进展情况

人类很早就使用各种手工工具和简单机械进行生产劳动，但在生产中大量使用机械设备，则是18世纪末的第一次产业革命以后才出现的。

最初使用的生产设备结构简单，生产效率很低，一般都由操作工人兼管设备的修理。在这种手工业作坊式的生产时期，设备无专职的维修和管理人员，也没有产生设备管理这门科学。随着科学技术和社会生产力的发展，生产规模不断扩大，生产设备不断改善。

19世纪40年代，蒸汽机、铁路和转炉炼钢的产生，使社会生产力有了巨大的提高，工业生产凭借新的动力和运输手段以前所未有的速度蓬勃发展。生产设备的增加和结构的日趋复杂，产生了专职的设备维修和管理人员，并在长期的设备维修和管理的实践中，逐步形成和发展了设备管理科学。

1.2.1 设备管理的发展

(1) 经验管理阶段（19世纪中叶～末叶） 随着科学技术和生产设备的发展，设备的维

修工作逐渐从产品生产工作中分离出来，19 世纪电发明和应用后，由于内燃机、电动机的广泛使用，生产设备的类型逐渐增多，结构日趋复杂，一般的操作工人已不可能再兼顾维修了，而出现了专门负责检查和修理生产设备的工程师、机械师和维修工等，这些专业人员主要依靠本身的工作经验进行设备的维修和管理，维修的一般方式为事后维修，在这一时期尚未形成系统的、科学的设备管理理论。

（2）科学管理阶段（20 世纪初～中叶） 20 世纪初以汽车、高分子材料等为标志的第三次工业革命促进生产力的迅速发展和生产规模的迅速扩大。设备的技术先进程度和技术状态对生产的影响越来越大，设备维修工作量迅速增加，设备管理工作也开始受到重视。一些先进工业国家通过长期的经验积累和探索研究，形成了设备的计划预修理制度（计划维修），即为防止设备的意外损坏而按照预定计划进行的全部预防性的修理、维护、监督和保养的组织措施和技术措施。对设备进行定期检查、小修、中修、大修的修理周期结构和设备修理复杂系数的确定是计划维修的两大支柱。这一设备管理制度是建立在设备磨损理论和实际使用经验理论上的，具一定的科学性和合理性。但它所规定的设备修理周期结构和设备修理复杂系数又过于死板，缺乏必要的灵活性，忽视设备操作人员的作用和设备的日常维护保养，易造成设备的“过剩维修”和“不足维修”，维修费用高，经济效益差，且使设备的制造与使用维修相互脱节，不利于设备的技术进步。

美国在 20 世纪 50 年代初全面推广了设备的预防维修（preventive maintenance）制，即对设备定期清洗、维修、检查，并按需要进行大修理。随后又发展了生产维修制（productive maintenance），即对主要设备实行预防维修，而对一般设备实行事后维修，从而使故障损失和维修费用总和为最小的经济维修方式。另外还实行了以减少设备故障、改进设备技术性能为目的的改善性维修（corrective maintenance），这些设备管理制度在我国的工业企业中得到了一定的应用。这些制度注重于使用阶段的经济效益，但也缺乏对设备运动全过程经济效益的总体考虑。

（3）现代管理阶段（20 世纪 60 年代后） 在以原子能、计算机和空间技术为代表的第四次工业革命的推动下，工业生产设备的技术水平飞速提高，不断向自动化、连续化和电子化方向发展，生产效率和产品质量不断提高。但同时也带来一系列新问题，如生产设备的性能和质量、设备的正确使用和维修对企业生产计划的完成和经济效益的提高影响日益增大，对资源和能源的消耗也日益增加，设备的事故造成的损失也日益严重，工业生产造成的环境污染和公害危及人类健康和生态平衡。再加上产品迅速更新换代和激烈竞争，都对设备管理工作提出了更高的要求。这就是现代设备管理科学产生的社会基础。

而现代设备管理科学的产生又为解决这些问题创造了条件。人们认识到，要解决大工业生产所造成的这些问题，一是仅仅对设备使用阶段进行管理还不够，必须从设备的设计制造阶段开始进行全过程管理；二是只注重维修技术还不够，必须注重设备的经济效益；三是只依靠部分职工和职能部门进行设备管理还不够，必须动员全体员工和全社会来参与设备管理。这样从技术和经济两方面对设备进行全过程管理就形成了设备工程。

1.2.2 现代设备管理思想的产生

英国的丹尼斯·派克斯（Dennis Parkes）在 20 世纪 70 年代初提出了“设备综合工程学”（terotechnolology），形成了现代设备管理的科学理论。依据这一科学理论，各个发达工业国家也都纷纷研究和提出各自的设备管理和维修制度（如日本的全员生产维修制度 TPM 等），对社会工业生产起了有力的促进作用。

(1) 设备综合管理时期出现的背景

① 设备的高度现代化所带来的一系列新问题。

a. 事故和公害　由于设备的大型化、高级化和连续化，为高效率地创造物资财富创造了条件，但也使设备的事故损失和公害变得极其严重。

设备日益大型化，如日本最大的炼铁高炉体积达 5070m³，产量 10000t/d，宝钢的高炉体积约 4063m³，这样大的设备，一旦出了故障，损失会是惨重的。轻则打乱了生产计划、影响交付期，重则影响企业的兴衰。

设备精度的提高，高速、高温、高压等工作条件对设备管理提出了更高的要求，为了保证安全生产，必须采取有效措施防止锅炉爆炸等重大事故的发生。特别是在化工、钢铁、冶炼等流程工厂，由于管理不善造成设备泄漏、爆炸、火灾不仅损失巨大，而且给人类带来极大的灾难。例如 1984 年底印度中央邦首府博帕尔，美国人开设的联合碳化物印度公司剧毒原料异氰酸甲酯泄漏，使 20 万人受害，其中 3000 多人死亡，5000 多人眼睛受伤，造成震惊世界的公害惨案。

作业连续、工序流程化以后，生产率大为提高，但是出了事故影响面大、损失大。连续化、自动化生产线要求均衡生产，故障是破坏均衡生产的主要因素，在机械流程企业和化工、石油等流程企业中减少故障和降低停产损失成为重要管理环节。

b. 腐蚀、磨损、环境污染严重　由于化学工业的发展，设备腐蚀问题也日趋恶化，高温、高速、高压等工作条件不仅加速了腐蚀，而且加剧了磨损，特别在化工、石油、纺织、钢铁等行业，设备腐蚀及磨损情况尤为严重。据报告，美国国内每年因腐蚀造成的损失达 700 亿美元。另外由于废水废气中的氰化物、二氧化硫等不能有效处理，致使谷物、蔬菜受到污染；各种酸气、化学烟雾在人口密集的城市上空盘旋等间接或直接损害人体健康。减少腐蚀，防止污染和公害已经成为企业设备管理中较为严重的问题。

c. 能源的浪费　因设备高级化后相应的管理措施不力，使用部门普遍存在着跑冒滴漏的现象，加上设备效率低，造成了能源上的巨大浪费。

d. 电子化　电子技术的迅速发展，各种类型电子计算机被广泛的采用，使设备控制进入了一个新时期，这对于工业生产的变革具有极其重要的作用，然而电子设备机电一体化程度较高，设备结构复杂，要求维修人员熟悉电、机械、工艺、测量等多方面的现代化知识和技能。

e. 法制要求　设备现代化程度愈来愈高，工业愈加发达，带来了环境被污染的问题，大气污染（如毒气、烟、灰尘）、水质污染（如电镀中的有害物氰等）、噪声（飞机铆接噪声、发动机试车等）、振动（空气压缩机的振动）等都已成为公害，各国都很重视这一问题，要求加强设备管理，并且从法律的角度加以限制，企业必须设置机构，投入资金搞好环境工作。否则，法律限制和巨额罚金将使企业无法立足。

f. 生产成本问题　现代化设备愈先进、成本愈高，往往一台设备几十万、几百万元，这是企业应极端重视的问题。台湾一家工厂，因设备购置不当，导致工厂倒闭。所以，企业购买设备投资的多少，设备运转期维护、修理、改造及能源消耗的多少，都直接关系到企业的竞争和生存。

总之，设备现代化程度愈高，愈需要用现代化科学技术全面地、有效地对设备进行综合管理，从而保证生产正常进行，防止故障、事故、污染对人类的危害和影响。

② 企业间的竞争加剧，要求提高设备管理的经济效益。某厂因产品更新换代，需要技

术改造。工厂提出投资1亿3000万元的改造规划，因国家压缩资金，无法解决。经工厂重新研究，确定了“以改造和自制设备为主，购置为辅”的原则，重新制定计划，原准备向国外订购450台精密设备减为购38台，自制101台，国内购入新设备320台，修理老设备157台，共耗费资金3000万元，节省了1亿元。由此可见，在少花钱、多办事、节约资金方面，设备的潜力是很大的。

③ 设备社会化程度提高以后，要求系统管理、综合管理。目前设备社会化程度比以往大大提高了，环节也多了，各环节相互制约和影响，设备中体现的科学技术门类也愈来愈多。因此，要求系统管理、综合管理。

所谓社会化，主要指由于设备结构复杂引起各行业、各企业间的协作问题，例如液压机有机械部分、电器部分、液囊等，这就需要机械厂、液压附件厂、电器元件厂和橡胶厂大力协作共同完成；一台造纸机由许多部件组合而成，如机架、湿部、压榨部、干燥部、压光部、卷曲部等部件组成，分别由各车间或分厂制造，最后总装起来，成为一台造纸机。没有科学的、系统的管理，要完成这些任务是不可想像的。

④ 设备高度现代化，要求保障操作人员的安全和情绪饱满。如有害作业的遥控、计算机管理、控制生产流程和安全措施等，另外为了保障人身安全和工作情绪饱满，在设计阶段就要研究人机学、行为科学，使设备结构合理，易于操作，避免或减少误操作事件。

上述几个方面总起来看，就是设备制造的高度现代化和社会化，除了对生产的发展起了巨大的作用以外，也因事故和公害影响着人的安全和企业的发展。所以，采用先进理论，科学技术和手段，搞好设备综合管理，是工业发展的必然结果。

(2) 传统的设备管理的局限性

① 传统的设备管理只涉及设备使用和维修，不涉及设备的设计制造。设备在设计制造中所形成的结构不合理、材质低劣或能源消耗大、不安全、不易维修等缺点不仅使得设备在使用中故障频繁、效率低，而且光靠维修管理工作也难于解决上述问题。设备管理工作应包括从设备的调研开始直到报废为止的全部管理工作，而只管维修一段是局部的狭隘的管理。

② 传统设备管理的设计与使用分家，互不通信息。使用中发现的设备毛病不能及时反馈给设计部门，而设计工作由于不了解现有设备的使用及维修往往带有盲目性，致使设备设计质量不高，在使用中后患无穷。另一方面修理和改造分家，过去忽视设备改造，只按照修理周期结构或定期要求修理设备，恢复其精度，往往是顾此失彼，大修成了古董复制，越修越不好用，造成很大的浪费，更阻碍了设备技术水平的提高。

③ 传统设备管理重技术、轻管理。过去无论是企业还是设备部门，或多或少地存在着重技术、轻管理的现象，事实证明管理工作有着重要的作用，不少企业设备的质量和数量都不错，但由于管理混乱，常使企业亏损，甚至倒闭。

④ 传统设备管理的技术管理和经济管理分家。就是把设备的实物形态和价值形态分割开来，多数情况下不算经济账，不重视经济效益。从本质上讲，设备具有两种形态运动：一是物质运动，包括设备的购置（或设计制造）、调试、使用、维修、更新、改造直到报废的运动，这种物质运动形态形成了设备的技术管理；二是价值运动，设备从规划开始就要有较大的投资，投产使用后一方面为企业生产产品、创造价值，另一方面为了保持设备完好状态和提高其性能仍要不断投入维修费、改造更新费等。因此设备技术管理工作中始终伴随着经济问题。

传统设备管理只有机修人员、设备管理人员参加，企业其他人员很少过问。传统设备管

理的局限性限制了现代化设备的有效利用，并阻碍了设备技术水平的提高，远远不能适应现代化企业管理的要求，不能适应企业竞争和克服事故与公害的要求。因此人们提出了设备综合管理的观念，开展了设备管理的改革。

1.2.3 国外设备管理科学的进展

1.2.3.1 英国的设备综合工程学简介

设备综合工程学（terotechnology）是指“具有实用价值或工业用途的科学技术”。

(1) 设备综合工程学的产生　设备综合工程学是现代管理的一门新兴科学。1970 年英国维修保养技术杂志主编丹尼斯·派克斯在国际设备工程年会上发表一篇论文，题目是“设备综合工程学——设备工程的改革”，提出了这门新兴科学。英工商部设备综合工程委员会事务局的负责人海洛柯讲“由英国人兴起的产业革命扩展到全世界，引起了公害事故，特别影响了人与人之间的关系，要解决这些问题，是英国人的责任。因此，我们提倡设备综合工程学”。

英国在政府机构工商部内，设置专门的设备综合工程学委员会，对设备管理工作进行组织领导，这是英国设备管理工作的特点，该委员会设置过程如下。

① 设置维修保养技术部。1967 年在丹尼斯·派克斯的建议下，英国政府设立了维修保养技术部，专门负责维修保养工作。

② 对英国制造业设备维修保养情况进行调查。1968 年对 515 家企业的修理工作进行调查，并详细调查了 80 家工厂维修保养情况。

a. 英国制造业的设备维修保养直接费用，每年约花费 11 亿英镑；

b. 如果改善设备管理工作，每年维修保养费用可减少 2～2.5 亿英镑；

c. 因维修保养不好而影响生产，每年约损失 2～3 亿英镑。

③ 维修保养技术部向英工商部提出建议。

a. 设置“经管委员会”指导维修保养活动；

b. 应尽早注意综合性维修技术培训；

c. 为协调、交流维修保养情报，应该建立全国性的维修保养中心；

d. 研究集团化维修保养资源（grouped maintenance resources）利用的可能性；

e. 立即开展维修保养技术所有领域的研究工作。

根据上述五项建议，1970 年英国在工商部下，设立了“经管委员会”，该委员会于 1970 年 5 月改名为“设备综合工程学委员会”。

1975 年 4 月英国政府成立了“国家设备综合工程学中心”（national terotechnology center，NTC）由丹尼斯·派克斯任所长，该中心通过介绍设备综合工程实施事例、发行设备综合工程刊物、召开各种研讨会等方式推动设备综合工程学的发展，并为执行这门学科提供帮助。

总之，设备综合工程学是为了消除工业革命带来的悲剧，对设备实行一生全过程管理，以实现设备寿命周期费用最经济的目的。也就是，实行设备综合管理做到无事故、无公害、低能耗、高效率、高收益，为企业的生存和发展提供条件。

(2) 设备综合工程学的要点　根据设备综合工程学的定义，可归纳为以下五个要点。

① 追求寿命周期费用最经济。

② 从工程技术、财务分析、组织管理三个方面对设备进行综合管理。

③ 重点研究可靠性、维修性设计。

④ 是以系统工程的观点研究设备一生管理的科学。

⑤ 是关于设计、使用，费用信息反馈的管理学。

设备综合工程学是在维修的基础上发展起来的，重点研究设备的可靠性与维修性设计。也可将其分为设计工程，制造工程与维修工程三个方面。

除了设备的设计工程和制造工程之外，维修工程也是设备工程中不可缺少的组成部分，对一般设备来说，不管设计制造得多么完美，在使用过程中总会出故障，出了故障就需要修复。在解决故障与修复这一对矛盾的长期实践中就逐步发展了可靠性和维修性理论，同时也相应地发展了可靠性工程和维修性工程。

概括地说，机械设备应具有机械性能（如精度、准确度等）、可靠性和可维修性等三个方面的性能。

静态的可靠性是指机械设备具有足够的机械性能及耐用、安全、可靠的使用性能。动态的可靠性是指设备使用时利用各种规章制度、技术措施和管理职能来保证设备的正常运行。动态的可靠性属于可靠性管理范围。

可维修性是指机械设备易于进行维修的性能，如设备结构简单、合理、易于检查和排除故障、易接近性、互换性好、标准化程度高等。

无维修设计是可靠性、维修性设计的理想结果。它是设备综合工程学的重要概念，也是其追求的理想目标。美国威斯康星大学教授纳德勒建立了一个向无维修设计过渡的模式如图 1-1 所示，三角形的顶点是理想极限，无需时间与经费，底边最大，就是说单位产品维修费用最大。

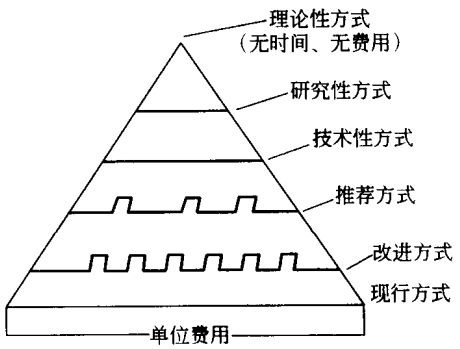


图 1-1　无维修设计示意

无维修设计是指在规定的寿命周期内，设备不需要维修，有些家用电器，如电冰箱、洗衣机，在规定的使用期限内已达到了无维修设计的水平。机械设备也向着无维修设计发展。

（3）设备综合工程学的发展

① 设备综合工程学在英国国内的推广。设备综合工程学在短短的十年左右时间内，在英国国内之所以能够得到推广，一方面是由于政府的大力提倡，设立机构如“设备综合工程委员会”和“国家设备综合工程学中心”，出版刊物，在大学中设置专业，积极推动这一设备改革运动的发展；另一方面，设备综合工程学的观点，是基于现代设备管理工作的特点、规律和要求提出的，运用设备综合工程学的观点，可以发现企业设备周期中的薄弱环节，有针对性地采取有效措施，保证预期提出的寿命周期费用最经济的目标得以实现。因此引起了各企业主的兴趣和各方面的关注，加之通过实践，给各企业带来了好处，设备综合工程学也就为更多的厂长、经理和工程师们所接受，现根据英国情况举例说明如下。

a. 可减少费用。一家制浆造纸厂采纳设备综合工程学后，减少了项目的基建费用，加速了设备的安装。同时由于可靠性和维修性都比较好，还提高了生产效率。

b. 可提高设备利用率。一家从事制浆造纸生产的小公司，对一些复杂的机器按设备综合工程学的原则进行了数据分析，使机器的利用率提高了 25%。一家制浆造纸厂在状态检测维修中，实行“检查-修理”方法后，设备的性能和利用率都得到了提高。

c. 缩短工期。英国钢铁公司董事长蒙蒂·费尼斯顿在皇家协会举行的一次设备综合工

程学会议上，接受了会议的建议，在建设萨里巴钢材厂时，应用了设备综合工程学的原则，仅用11个月的时间就完成了试车工作，比原计划提前三年多，生产率也超过原定目标。

d. 从设备一生管理出发，制造厂和使用厂均受益不浅。

一个造纸设备制造商贸易协会向其成员和用户提供了利用设备综合工程学的原则把规划工作做得更优的指导材料。

一家印刷机制造厂采纳维修工程师反映的意见有效地改善了研制和销售情况。

一家造船厂利用出售军舰时提供全部维修保养和培训的计划，而赢得了向一个外国海军供应军舰的合同。

一个世界上主要的生产塑料管子的厂商，由于采用预防维修保养技术而节约了大量的机器备件。

一家机床制造厂，根据自己用户的“综合要求”按设备综合工程学的原则编制了一个检查清单来提供设备。

e. 在加工工业中，价值工程部门对寿命周期费用的研究为今后的决策提供了依据，上述实例说明，设备综合工程学的实施过程中，正在产生着巨大的效果。

② 国际上设备综合工程学的进展情况

a. 日本不仅接受了综合工程学的观点和学说，而且近年来发展极其迅速，专门组织开展寿命周期费用和状态监测的研究工作并取得很大的成就。

b. 在南斯拉夫组织了“有效维修管理及其在设备综合工程学中的作用”的专题讲座，引起了很多人的重视。

c. 在印度举行的一次国际会议上，设备综合工程学已同摩擦技术联合在一起，题目是“通过摩擦技术、设备综合工程学和维修管理实行资产和费用的最佳利用”。

d. 在西班牙举行的首届“西班牙-美国维修会议”上进行了两项以设备综合工程学为主的技术交流活动。

e. 对设备综合工程学的普及做出重大贡献的 Eutectic castolin 研究院，在世界上有120多个从事设备综合工程学的教育、培训和研究中心。主要进行经济地延长机器零件使用寿命方面的研究工作。

f. 瑞典把设备综合工程学应用到技术文件上，这些文件随同卖给发展中国家的机器一起交付，文件内容包括寿命周期费用、对维修系统的建议、一套需要的备件、对维修保养培训的指导及改进维修状态的建议。

g. 意大利的阿斯托里奥、白尔丁把设备综合工程学在控制日益增长的第一次费用和维修费用方面起的关键作用作为主要深入课题。挪威设备结合工程学中心的莱德、卡尔森呼吁在设备综合工程学的各个方面进行更大的国际合作。巴西的阿尔杜·祖卡预言设备综合工程学将会在许多发展中国家飞速发展。

1.2.3.2 美国的后勤学（Logistics）简介

(1) 美国的预防维修（PM） 美国1925年提出预防维修（preventive maintenance，PM)。其出发点是防患于未然，防止故障的产生、减少停机损失、减少维修费用、提高效益。到了1954年，又提出生产维修（productive maintenance)。

生产维修除了坚持日常保养外，包含下列四种维修方式：事后维修（breakdown maintenance)、预防维修、改善维修（corrective maintenance）和维修预防（MP)。针对不同设备及其使用情况，分别采取不同的维修方式。例如，对重点设备实行预防维修，对一般设备

则可事后维修，其目的是提高设备维修的经济性。

实践证明，为减少设备故障，单纯的预防维修还是不够的。要从根本上解决问题，必须提高设备的可靠性和维修性，就是要改进设备的设计和制造质量。这对于使用中的设备来说，是改善维修（CM）；对于新设计的设备，则是实行维修预防（MP），以消除或减少维修活动。

（2）美国的后勤学的概念　美国后勤学起源于军事工程，是研究武器和器材供应、储存、输送、修理及补给的学问，在此基础上，吸取了寿命周期和可靠性，维修性工程等现代理论而形成后勤工程学，它是20世纪60年代，在美国兴起的一门新兴学科，简称为后勤学。

美国早于英国提出寿命周期费用，而且把后勤保障作为寿命周期费用的一个组成部分，后勤学的内容也更加广泛，包括基本系统和后勤支援。

1.2.3.3　日本的TPM简介

（1）日本设备管理的发展过程

第一阶段　事后维修（BM）。即故障产生后才修理。战后日本工业瘫痪，设备状况不佳，影响它的经济恢复。20世纪50年代以前日本实行这一制度，故障、事故多、停产多、费用高、损失很大。

第二阶段　预防维修（PM）。20世纪50年代初日本引进美国预防维修，是从预防的角度出发，对设备故障早期发现、早期治疗，故障大大减少，成本降低，企业受益很大，特别是石油、钢铁、化工、造纸等流程工厂。

第三阶段　生产维修（PM）。这种维修是以提高企业生产效能为目的的维修方式，1957年日本引进美国的生产维修，这种维修方式主要是从实际情况出发，对一部分不重要的设备实行事后维修减少所有设备均进行预防维修在技术上和经费上的浪费，避免了维修过剩，同时为了提高设备性能，在修理过程中采用新技术、新工艺对设备进行改善维修，即CM。

1960年，日本重视了在设备设计阶段的可靠性、可维修性设计，也实行了维修预防的作法。维修预防，即MP，就是在设备设计时赋予设备高的可靠性、维修性、经济性以减少或消灭使用中的维修，达到无维修设计，20世纪60年代是日本现代化急剧发展的10年，称“3C时代”（car，cooler，color television），实现了无维修设计。

第四阶段　全员参加的生产维修（total productive maintenance，TPM）。在生产维修的基础上，日本吸收了美国后勤学、英国综合工程学及我国鞍钢工人参加管理、合理化建议和劳动竞赛等的管理方法，于20世纪70年代形成了TPM维修制度。

（2）TPM的定义及特点　以达到设备综合效率最高为目标；确立以设备一生为对象的全系统的预防维修；涉及设备的计划、使用、维修等所有部门；从领导到第一线职工全体参加；机动管理，即通过开展小组自主活动推进PM。

TMP的“T”字有三个含义。

a. 全效率。即全效率的研究LCC评价，追求经济性（盈利）。

b. 全系统。即指设备制造以前的维修预防，投入使用以后的预防维修PM，改善维修CM，在某些设备上也应用事后维修BM。

c. 全员参加。全体人员参加，主要是操作者的自主维修活动（小组活动）。

（3）PM小组自主活动　日本于1960年从美国引进质量管理QC小组活动，1962年又

学习美国的ZD无缺点运动，1971年开展TPM活动以后，把QC、ZD和TPM三者结合起来，统称“小组自主管理活动”，包括无废品、无故障、无灾害、无公害、无工作差错等多样小组活动。

① 小组的组成。生产工人按车间编成组，成员为3～10人，民主选举组长，每周一次例会，活动时间为0.5～1h，公司TPM大会每年两次。活动开展得好，可按人数比例得奖，奖金存入小组，作为小组娱乐、图书、会议等活动的基金。

② 小组活动的主要内容。

a. 根据上级PM方针制定小组共同奋斗目标。

b. 提出减少故障停机的建议、措施，每个人都要完成规定的目标，并分析故障，加以解决。

c. 认真填写设备状况记录表，对数据所反映的设备实际性能进行分析、研究。

d. 定期开会评议目标完成情况，一经完成，经小组讨论通过后便向上级汇报。

e. 评价成果、制定新目标。

(4) TMP开展程序的步骤　见表1-1。

表1-1　TMP开展程序的步骤

阶　段	步　骤	要　点
引进准备阶段	1. 领导宣传引进TPM的决心 2. FPM的引进教育和宣传活动 3. 建立TPM推进机构 4. 制定TPM的基本方针和目标 5. 制定开展TPM的基本计划	在公司内通过TPM的讲演会发表宣言，在公司报纸上刊登 干部按级别集中进修；一般人员开展幻灯放映会，成立委员会、专业分会、事务局 预测基准点和目标的效果 从引进设备开始到接受审查止
引进开始阶段	6. TPM起步	订货单位，关系公司，协作公司(招待)
引进实施阶段	7. 提高设备效率的局部改善 8. 建立自主维修体制 9. 建立维修部门的计划维修体制 10. 提高运行，维修技术的培训 11. 建立初期设备管理体制	选定典型设备，成立设计小组，设计步骤方式、诊断和合格证 定期维修，预防维修，备品，32具，图纸管理，施工领导人集中受训，向一般人员传达和进行教育 MP设计，初期管理，LCC
巩固阶段	12. 全面实施TPM并提高水平	接受PM奖审查，向更高目标挑战

(5) 5S活动的推行　5S是指“整理、整顿、清洁、清扫、素养”。这是工厂管理的基础工作，也是开展TPM的基础。

整理　把紊乱的东西整理好，不用的丢掉，有用的有秩序地放好。

整顿　把物品分类整齐地安放。

清洁　没有污染。

清扫　打扫得干干净净。

素养　要有良好的举止、作风和生活习惯，遵守制度等。

(6) 设备的点检

① 从医学观点看设备的预防维修。在医学方面，对于防病、治病的管理有着一整套的方法、制度和技术，日本工程师学会秘书长中岛清一将设备的预防维修与人体的预防医疗加以对比。预防医学有日常预防、健康检查、早期治疗；设备预防维修有日常维护（防止劣化）、设备检查（测定劣化）、预防修理（修复劣化）。也就是说，为防止突发故障或劣化造成停机损失，最好进行早期检查、诊断和治疗，把设备故障消灭在发生之前。

设备状态监测及诊断技术为设备的预防医学提供了科学的手段。提出设备医学的观点，给人以启示：如果能把人类医学领域中的理论、临床应用、会诊等管理制度用于设备医学，必然对预防维修的发展产生深刻的影响，给延长设备使用期和提高效率带来好处。

② 设备的点检。在前面谈到的日常维护中，点检和清扫、加油一样是一项重要的措施。所谓设备的点检就是按照一定的标准，对设备的规定部位进行检测，使设备的异常或劣化能早期发现、早期预防、早期治疗，以便保持设备规定的性能。设备点检分为两类：一是日常点检，由操作工人负责进行；二是定期点检，按规定期限由维修人员进行。

点检后必须作记录，作为维修工作及管理的依据，目前我国有些工厂也在结合我国特点研究这一措施的效能。

(7) 以设备综合效率最高为目标　追求综合效率最高是 TPM 的主要目标，目前日本 PM 奖得奖单位设备综合效率已达到 85%以上，这是很高的标准，从下面计算公式可以了解这点。

① 时间开动率（或称设备开动率）

$$\frac{\text{工作时间}}{\text{负荷时间}}\times 100\%$$

$$=\frac{(\text{负荷时间}-\text{停机时间})}{\text{负荷时间}}\times 100\%$$

按一天工作 8h，扣除 20min 计划停机时间外实际负荷时间＝460min，停机 60min（故障停机 20min，换刀具 20min，作业调整 20min），即

$$\text{时间开动率}=\frac{(460-60)}{460}\times 100\%=87\%$$

② 性能开动率＝速度开动率×净开动率

$$=\frac{(\text{理论周期}\times\text{加工数量}\times\text{实际周期})}{(\text{实际周期}\times\text{开动时间})}\times 100\%$$

若理论周期为一件 0.5min，实际周期为 0.8min，加工数量为 400 件，开动时间为 400min。则性能开动率$=\frac{0.5\times 400\times 0.8}{0.8\times 400}\times 100\%=50\%$

③ 合格品率$=\frac{(\text{加工数量}-\text{不合格数量})}{\text{加工数量}}\times 100\%$。

④ 设备综合效率＝时间开动率×性能开动率×合格品率

若合格品率为 98%，则设备综合效率＝87%×50%×98%＝42.6%

由上例可知，日本计算综合效率是重视设备实际开动时间，实际加工周期及最终产品质量。TPM 活动中，希望企业能达到以下指标：设备开动率大于 90%；性能开动率大于 95%；合格品率大于 99%。这样设备综合效率才能达到 85%。不难看出上例中的 42.6%是很低的。

(8) 实行 TPM 的效果　近年来提倡 TPM 以后，许多单位纷纷进行全员生产维修，同时争当先进单位。因为 TPM 可以取得实际效果，受到企业领导的欢迎。TPM 是向消灭故障、消灭缺陷挑战。若能消灭故障和缺陷，则能提高设备开动率、降低成本、减少库存，最后提高了劳动生产率。TPM 奖受奖单位有的突发事故次数降低到原来的 1/50，有的设备开动率提高了 17%～26%，有的工程能力不良率降到了 1/10，劳动生产率提高了 1.4～1.5 倍。

爱心精机的西尾泵工厂被称为“客厅工厂”。因为它开展了5S活动（在5S基础上又增加了“认真干”），该厂于1972年，1977年获企业管理奖后，1979年开始推行TPM，1982年又获PM奖。同时，产品质量显著提高，创造了生产100万台泵，次品不到11件的惊人成绩。

总之，日本在学习美国预防维修、英国综合工程学的基础上结合本国情况、民族特点及各方面的条件加速设备管理改革，创出独具一格的全员生产维修制度，20世纪80年代可以说是进入了以状态监测为基础的TPM时代，向预防维修发展。而TPM由于受到企业领导的欢迎而正向全国进一步发展。

1.2.3.4 前苏联的设备计划预修理制度的情况

经历了20世纪60～70年代的实践和总结，前苏联的计划预修理制度在名称、术语、具体做法等方面都有较大改变，但这一制度的基本理论基础仍未改变。因此，修理周期结构和以设备复杂系数为主要内容的修理定额，仍是前苏联设备管理维修制度的支柱。此外还吸取了某些西方工业国家注重设备监测技术、状态检查、故障理论、数理分析、快速排除故障方法、计算机技术应用等做法。

前苏联现行设备管理维修制的主要变化有如下几个方面。

（1）改进维修方式和维修制度

① 在设备维修活动中强调操作工人参加。改变过去操作工人被严格排除在修理之外的做法。

② 改进修理周期结构。在确定修理周期结构时，除了原有的规定外，还进一步考虑到设备质量级别、出厂年限、修理次数、精度要求、单台和联动等多种因素，这样，使确定的修理周期结构更符合设备的实际运动规律。

③ 延长修理间隔期。决定修理间隔期的因素也有增加，如结构特点、导轨材料、维护水平、维修特点等因素。实际上经修改后的修理间隔期延长了，增加了设备有效利用时间，减少了原来的过剩维修。

④ 修理劳动工时定额下降。1967年的修理工时定额比1955年下降了61%，这主要是通过提高修理工作机械化水平采取合理的技术组织措施，改善劳动组织，采用现代管理方法之后才达到的。

⑤ 在新制度中取消中修。过去实施的中修，实际上是简化的不完整的大修，已无存在必要。

（2）对更新改造予以重视

① 逐步改变以扩大设备拥有量为主的做法。进入20世纪60年代后，开始提出设备更新比率。1967～1980年，前苏联决定把这段时间内生产的新机床中的50%用于更新。

② 合理调整加工设备的结构。增加热加工和毛胚加工设备的比重，尽量采用少切削、无切削和半精加工的设备。增加特种加工设备的比重，如电加工设备的数量在1962～1975年的10多年中增加了4倍，成为世界上仅次于美国的国家。

③ 大幅度增加高效和自动化设备的数量和比重。1965～1974年自动化线由2696条增加8116条，为原来的3倍以上。

④ 重视旧设备的改造工作。改造工作多数是采用集中化和专业化方式，并尽可能结合大修理进行，对于标准和通用设备，其改造方案均采用由专业设计院设计的典型结构，所需的零件和部件都由专业化工厂以大批量生产方式制造和供应。

(3) 加强设备的技术维护，推行技术维护和修理的规程化

① 设备技术维护（PTO）。按前苏联国家标准（FOCT 18322—78）应理解为当产品（指设备）按规定用途使用、待用、存放和运输时，为保持产品的工作能力或良好状态而进行的一整套作业或某项作业。因此，除了按计划预修理制度所规定的维修外，还应重视计划外的修理工作（相当于故障修理）。计划外作业的大部分原因是由于设备的可靠性较差，或由于不遵守设备使用规程而造成的。实践证明，即使在计划维修组织最好的工厂中，进行适度的计划外修理作业也是免不了的。

② 开展规程化技术维护和规程化修理。过去，完成各项维修作业的方法和顺序，通常是由修理人员在修理工长（技师）和车间机械员的指导下进行的，其效果主要决定于修理人员的技术水平和经验。为了减少主观因素对技术维护和修理的影响。近年来，在某些条件较好的企业和部门开展了规程化的技术维护和规程化的修理，取得了成效。

规程化技术维护是一种在标准、技术文件中加以规定，并按一定的间隔期进行的技术维护，其工程量按文件的规定确定，而与技术维护开始瞬间的产品的技术状态无关。

同样，规程化修理同产品开始修理时的技术状态无关，只按运行（使用）文件中所规定的间隔期和工作量进行计划修理。

(4) 设备修理工作集中化和专业化

① 跨部门的集中化。可以使修理工作的专业化达到极高的水平，从而保证大幅度降低设备修理劳动消耗，并改善修理质量。

前苏联成立了全苏生产组合机床修理联合企业，为实现部分适用设备的跨部门集中化服务。由若干专业化修理厂来集中完成某些固定机型的修理工作，可使这些专业修理厂采用大批量生产的方法，从而使修理成本大大下降。

② 修理工作的部门集中化。各产业部门通过批量生产，提供各种备件和配件以及测试器具，使各工厂的修理，逐步过渡到按指导性的工艺规程来完成大修。在这方面起步早的是石油化工机械部和拖拉农机制造部。据统计，这些大批量生产备件和配件，其成本可降低1/3～2/3。

③ 修理工作的厂内集中化。主要是指大型企业而言，就是将修理工作集中到机修车间或修理分厂来完成。因为最有可能采用设备修理专业途径的是大型工厂，其次是中型工厂，而小型工厂的这种可能性最小。所以，大型工厂设备修理工作的各项技术经济指标应比小型工厂的要求要高。

尽管如此，迄今为止，计划预修理制度从本质上看，仍属科学管理阶段（或叫做传统管理阶段），因为这一制度的主体是一整套维修管理的定额标准，而定额标准是“科学管理之父”泰罗及其制度所倡导与规定的重要内容。

1.3 我国设备管理的主要目标和任务

建国50余年来，我国设备管理工作经历了不断发展、不断完善的过程，目前，我国的机械设备基础已相当雄厚。但是就劳动生产率、设备效率和经济效益等主要指标与世界先进水平相比，还有一定的差距。我们还需要在设备管理方面，学习和推广国内外的科学理论和先进经验，进一步改善设备工程和设备管理，使之符合现代化生产的要求。当前我国设备管理的主要目标和任务分述如下。

(1) 总体指导思想与任务

① 战略目标。我国设备管理现代化的战略目标是：全面深化改革，不断改善和提高企业设备管理现代化水平，奠定具有中国特色的设备管理现代化基础，以保证国民经济持续、稳定、协调地发展。

② 总体任务。继续改革企业设备管理体制，建立相适应的设备管理现代化体系，使企业不断提高设备综合效率，不断降低设备寿命周期费用，促进企业提高经济效益和技术装备水平。

③ 体系内容。设备管理现代化体系包括：装备水平现代化、管理水平现代化、人员素质现代化、组织体制现代化、管理方法和手段现代化。

④ 管理思想和实施要点。对设备寿命周期进行全过程管理；追求设备最佳综合效率和最经济的寿命周期费用；建立全部信息系统与反馈机制；组织企业全员参加设备管理；应用现代化方法与手段，经济合理地组织维修；实现“五个结合”。

⑤ 责任考核。适应企业经营承包的需要，把设备管理的主要技术经济指标列入厂长任期责任目标进行考核，防止企业在承包中出现的不良短期行为。

(2) 设备的综合管理

① 寿命周期费用分析。有条件的企业可对重点设备建立寿命周期费用百分统计分析系统，对费用进行估算和核算，从而开展设备经济寿命、综合效率的计算和分析。

② 建立和健全综合管理组织和体制。大中型企业均应建立和健全旨在推进设备综合管理和管理现代化的相应管理组织和体制，并在实践中逐步完善。

③ 设备“一生”管理与前期管理。

有关部门和行业应创造条件，努力做好行业内和跨行业的信息交流逐步实现设计、制造与使用相结合的方针。

设备的设计制造部门应当与用户建立设备使用信息反馈制度，努力提供设备售后服务。

当前应做好设备前期管理工作，明确企业设备管理部门参与设备的规划选购及安装工作，把好设备选型关，逐步改善设备的构成和素质。

④ 依靠技术进步进行技术改造和更新。用当代新兴技术（如数控技术、数显技术、静压技术等）对设备进行技术改造；对老旧设备分期分批进行报废更新；结合大修理进行必要的改造。

⑤ 技术经济分析和资产管理。

要完善和发展设备寿命周期的理论，运用寿命周期评价法对大修、改造与更新进行技术经济分析、论证和决策。

企业要加强对各项与设备有关的资金（基本折旧基金、大修理基金、技改基金、备件资金和维修费用等）的管理，逐步降低设备修理费用在产品成本中的比重。

完善对设备资产的管理。

(3) 设备的维修管理

① 选择设备维修方式。企业应根据维修理论、行业特点、设备特性及其在生产中的作用等因素进行维修方式的决策，包括事后维修、预防维修、计划维修和状态维修等。逐步形成一种科学的新维修制度。

② 设备使用和维护。设备使用和维护包括三级保养、点检、定期维护和巡回检查等形式的日常维护和整洁文明生产。

③ 设备的故障管理。积极研究故障机理，及时排除故障和隐患，不断改善和提高设备

的可靠性和维修性大力推广无维修设计。

④ 重点设备管理。对重点设备应加强管理，逐步推广状态监测和诊断技术，保证其经常处于正常技术状态。

(4) 现代设备管理手段的应用

① 推广设备状态监测和诊断技术。在推广实用、简易价廉诊断技术的同时，重点抓好重点设备状态监测与故障诊断仪器仪表的开发和应用。

② 计算机辅助设备管理。企业根据需要应积极应用微机或计算机联机辅助设备管理，逐步完善设备管理信息系统。

③ 动力站的自动监控。在贯彻“安全、可靠、经济、合理”方针的同时，对动力站房的设备和运行管理，逐步实现微机自动监测和自动控制。

④ 现代管理方法的应用。结合企业实际情况，运用各种现代管理方法如网络计划、价值工程、技术经济分析、全面质量管理等，有效地改进设备管理方法。

(5) 设备管理的基础工作

① 完善设备信息管理。包括数据的收集、处理、反馈，做到数据规范准确，传递及时，反馈畅通。

② 建立设备管理和维修工作标准。包括各种技术管理标准、经济管理标准、维修技术标准、设备管理人员的工作标准，以及检修的各种定额等。

③ 健全设备管理的规章制度。包括前期管理、维修管理、更新改造等各种规章制度。

④ 加强设备的档案管理。包括技术档案与管理档案，并发挥档案在综合管理中的作用。

(6) 组织机构和人员培训

① 企业设备管理机构。根据企业规模、生产特点和设备复杂程度等因素，由企业自行配置机构，以符合设备综合管理的需要。

② 管理干部培养。在充分发挥大专院校作用，培养青年干部的同时，加强对在职干部的业务知识教育。

③ 维修工人培训。特别注意培养掌握机、电、仪一体化设备的中高级维修技工。

第 2 章　设备综合管理的方法

2.1　系 统 工 程

所谓企业的设备综合管理，其实质就是用系统的观点来认识企业的设备管理，用系统工程的方法来进行企业的设备管理。因此，掌握系统工程的观点和方法，是进行企业的设备综合管理的前提条件。

(1) 系统的概念及其特征　系统是由互相关联的，多个元素集合而成的，并具有特定功能的有机整体。系统有自然结合的人体系统、半自然结合的社会系统，以及人为组合的工业系统、管理系统等。宇宙中太阳系、飞机、机床、各种规章制度、组织体系都是一个系统。

系统有如下特征。

① 集合性。系统是由两个或两个以上可以相互区别的元素组合而成。这些元素不是简单的组合，而是按照系统特定的目的有秩序地组合而成的。

② 相关性。是指系统中各个元素之间具有相互依存、相互作用和相互制约的关系。

③ 目的性。一个组织系统的建立可能是为了完成某项工程，一个技术系统建立的目的是达到给定的性能指标等。

④ 整体性。整体性体现在总系统的目标是分系统目标的总和，这说明具有独立功能的各个分系统以及它们之间的关系，只能按照一定的逻辑统一和协调于总系统的整体之中，任何一个分系统不能脱离整体去研究。

⑤ 适应性。系统存在于环境中，任何一个系统与外部环境隔绝都将丧失生命力。对于企业要了解掌握商品市场动态、物资货源情况、技术资料信息等，以不断适应外界环境的变化，完成生产工作。能够与外部环境经常保持最佳状态的系统是理想系统，不能适应外部环境变化的系统是没有生命力的。

(2) 系统工程在设备管理中的应用　系统工程是应用系统的观点，结合信息论、控制论、经济管理科学、技术管理科学、现代数学方法和电子计算机手段，为了更好地达到系统目标，按照系统开发的程序和方法去研究和建立最优化系统的一门综合性管理科学。

系统工程在学科上有以下的特殊性能。

① 系统性。系统观点和思想是区别于其他工程的本质特征。把所研究的对象看做一个系统整体，从整体出发考虑局部，以达整体效果最佳。对企业的计算机管理系统实行总体数据规划，对设备的一生进行寿命周期费用评价等都是系统性在设备管理工作中的体现。

② 综合性。设备综合管理，充分运用了运筹学、人机学、社会组织学、价值工程、信息工程、可靠性维修性工程、状态监测与故障诊断技术等一系列现代科学技术，总结设备管理在长期实践中的成功经验，这是系统工程的综合性在设备管理中的体现。

③ 科学性。系统的开发设计、制造、应用等全过程都离不开管理科学，运用现代数学对系统加以分析、归纳、建立数学模型，并利用电子计算机求解数学模型，通过定量的分析，准确地了解事物的规律和本质，进而控制、平衡系统中的各种元素，使系统处于最优状态。

④ 实践性。系统工程以改造世界为目的，系统工程的实践，逐步形成一套科学的工作程序和步骤。

设备综合管理中要对设备运动的全过程，即从设备的研究设计、制造试验、安装调试、操作运行、维修保养、技术改造直至报废更新的全过程进行管理并形成一整套工作方法，正是系统工程的实践性在设备管理中的体现。

① 设备管理与系统工程。系统管理理论的出现及日趋成熟，为综合了设备的技术和经济许多方面的管理工作走向科学化、现代化提供了有利的条件和实践的可能。完全凭经验管理的时代已经过去，企业管理及设备管理都要求运用系统的方法研究和处理管理中出现的问题，要求运用线性规划、动态规划、库存、排队、模拟和计划网络等运筹学的模型对所研究的问题进行定量的系统分析、决策和优化。

② 系统工程在设备管理中的应用实例。以天津化工厂设备大修理中系统工程的应用。

天津化工厂是生产盐酸、烧碱和聚乙烯等化工产品的一家化工厂。按照规定，全厂设备每年要进行一次停产检修。一般与天津化工厂同等规模的化工厂实现这样的设备停产大检修需要停产的时间至少为 7～10 天。但天津化工厂在 1987 年度只用了一天就完成了全部检修项目。据统计，天津化工厂在这一天完成的设备检修项目有 1007 项，共消耗钢材 237t，修理各种管道 8709m，花费资金 170 万余元。这样高速度、高效率的设备检修使企业的停产损失降低到最低限度（以全厂每天产值 30 万元计），可减少停产损失产值 200 万元以上。

总结天津化工厂的设备停产检修管理经验，就是运用系统工程的观点和方法来进行设备检修的计划、准备和指挥调度，在资金、原材料、备品备件、施工设备、施工方案和人员配备等系列环节上进行系统的优化管理，从而使全厂的设备检修系统处于最佳运行状态，高效率地完成了设备的停产检修任务。

2.2 设备的寿命周期费用评价法

企业设置有形固定资产以后，从投入使用到最后报废，通常要经历相当长的时间。随着技术更新速度的加快，固定资产因技术陈旧而更新的速度也相应加快。更新周期一般为 5～10 年。

作为用户，在设置资产的阶段要支出设置费，此后，在该项资产报废前的使用过程中，还需支付包括运行费和维修费在内的维持费，这就是说，当用户使用某项资产以达到某一目的时，比如生产产品并通过出售产品而获得利润，就需要投入设置费和维持费。

1950 年，根据美国进行的调查指出：五年间用于运行和维修的维持费达到了设置费的 10 倍以上。据美国国防部提出的报告，维修费用在预算中所占的比重至少在 25%以上。

1969 年，在英国也进行了调查，结果表明：英国制造业由于对维修工作认识不足，一年内浪费的维持费达 5.5 亿英镑。事实证明，现在的问题已经不是把资产的设置费和维持费分别加以管理，而是要把两者合起来作为寿命周期费用进行综合的管理。

因此，在设置阶段应该进行透彻的研究：是减少维持费，还是减少设置费而将费用转移到维持费方面更为适宜。对此加以权衡（trade-off），是一项很重要的工作。

寿命周期费用评价法来源于费用效益分析（cost-benefit analysis）。费用效益分析开始时被应用于民生领域的经济问题。费用效益分析从 20 世纪 30 年代后半期，美国开始用于各个领域，并逐渐被改称为费用效果分析（cost-effectiveness analysis）。

在 1960～1965 年间，后勤管理研究所（logistic management institute）受国防部的委

托，进行了寿命周期费用的研究。从那时起，开始使用了寿命周期费用评价法（life cycle costing）这个词。

以上事例说明，美国是从1970年开始，才真正进入寿命周期费用评价法的时期。现在，寿命周期费用评价法不仅用于军事方面，而且在公共事业（水源开发、道路规划、防止交通事故、城市规划、土地利用、机场规划、保健问题、教育问题等）和民用产业领域中也有广泛应用。

2.2.1 寿命周期费用评价法的基础

寿命周期费用评价法是在系统（设备、产品、其他）的目的和目标确定之后，计算出系统效率和费用，并在两者之间进行权衡（在设置费和维持费之间进行权衡）以期找到最佳方案的分析方法。

（1）寿命周期费用评价法要点

① 当选择系统时，不仅考虑设置费，也要将所有的费用放在相应的位置上加以研究。

② 在系统开发的初期考虑寿命周期费用。

③ 进行“费用设计”，就像对系统的性能、精度、重量（质量）、容积、可靠性、维修性等技术规定一样，也把寿命周期费用作为系统开发的主要因素。

④ 透彻地进行设置费和维持费之间的权衡，系统效率（系统的输出）和寿命周期费用之间的权衡，以及开发、设置所需的时间（日程表）和寿命周期费用之间的权衡。

⑤ 为了更好地进行权衡，对系统各组成部分要考虑多种方案，以便从中选择最佳方案。

⑥ 要准备好可以有效地加以利用的费用数据库。

（2）寿命周期费用评价中的费用设计　“费用设计”（design to cost）是指在进行设备或系统的设计时，对系统的精度、速度、容积、重量（质量）、可靠性、维修性等设计做出规定的同时，对系统的寿命周期费用也作为设计的一项要素来加以考虑并进行设计。

美国，费用设计是在20世纪60年代末期开始得到重视的，它可以说是一种新的概念。1970年，国防部设置了制造技术服务部，在决定军需品的供应时，首先要进行费用设计。

费用设计的优点为：由于费用的数额明确，便于对费用进行管理；费用高的部分一目了然，便于尽早采取必要的对策；可以实现目标费用；可以获得性能和费用相平衡的较好的系统，可以提高寿命周期费用的经济性。

在日本，接受订货的工厂从订货价格减去利润就得出“允许成本”。而根据过去的经验则可算出估算成本，对于“允许成本”和“估算成本”之间的差额，一般情况下都是估算成本较高，要研究如何消灭的方法，也就是采取从下而上地算出总费用的办法。因为“费用设计”的办法是从上而下将费用分配下去，它同日本所实行的方法完全相反。

（3）寿命周期费用评价法的实施步骤

① 以最重要的评价要素为依据，对各方案进行一次评价，将评价显然不高的方案排除掉。以电气吸尘器为例，它的主要性能是吸尘能力，假如这项性能非常低，那么无论它搬运起来多么方便，尘土如何易于排掉，这样的方案还是必须舍弃的。

对多种方案进行处理是一件重要的事情，然而，对有效度显然很低的方案进行详细研究无疑是不经济的，所以，要通过这个阶段进行“粗筛选”。

② 对经过“粗筛选”剩下的方案进行有效度和费用的详细估算。在这个步骤中，除了机械、电气、物理、化学等技术外，还必须同时综合运用可靠性和维修性工程、人机学、工业管理学、运筹学、成本估算等管理技术。

③ 用固定费用法和固定效率法进行评价。所谓固定费用法（fixed cost approach），是将费用值固定下来，然后选出能得到最佳效率的方法。反之，固定效率法（fixed effectiveness approach）是将效率值固定下来，然后选出能达到这个效率而费用最低的方案。

各种方案都可用这两种评价法进行比较。比如，厂房的预算只有一个规定的数额，要根据这个规定数额的预算选出效果最佳的方案，就可采取固定费用法。又如，要开发一个供应1000名职工的给水系统，可以在完成供水任务的前提下选取费用最低的方案，这就是固定效率法。根据系统情况的不同，有的只需采用固定费用法或固定效率法即可，有的则需两者同时运用，从效率和费用两个方面对系统进行详细的比较、研究，选出最佳方案。

2.2.2 评价设备寿命周期费用的方法

2.2.2.1 寿命周期费用

设备的寿命周期费用（LCC）是指设备一生花费的全部费用。确切地讲，就是设备在确定的寿命周期内，需要支付的设置费和维持费的总和。设置费，也称原始费，用AC表示；维持费，也称使用费，用SC表示。即

$$LCC=AC+SC$$

经过调查，大量的实例说明设备维持费是惊人的，把设置费与维持费分别考虑和管理是很不合理的，必须把两者结合起来综合规划、管理，特别是大设备设置阶段，必须把维护费同时加以考虑，在设计阶段如果考虑到可靠性和维修性，虽然购置费用或设计制造费有所增加。但因性能提高，在运行中的故障少、维修少，降低了维修费用和停机损失费，（见图2-1中曲线A）。如果在设备的规划设计阶段，没有考虑运行中的可靠性和维修性，则设备的总费用情况如图2-1中曲线B所示，设备使用时间短，维持费用高。为了保持设备良好状态，必须加强维修，并且进行改善性修理，以改善其性能，延长使用期，虽然花费了一些改善维修费，但降低了整个阶段的总的维持费，如图2-1中曲线C所示，效果比曲线B要好，因此结合修理同时进行设备改造是提高设备技术性能降低寿命周期费用的有效途径。

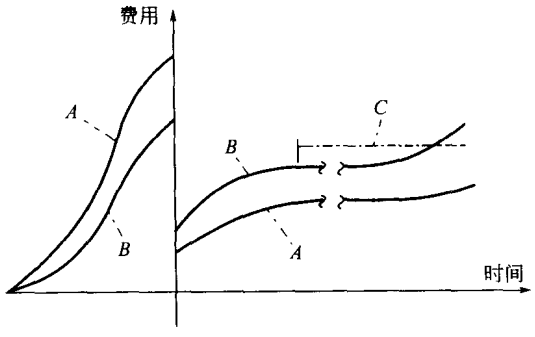


图2-1 设备的设置费与维持费

研究寿命周期费用最经济，就是要用较少的寿命周期费用获得较高的设备综合效率。在设备规划阶段，对准备选购或研制的几个设备方案进行寿命周期费用的比较和评价，对设备的综合效率进行计算和权衡，综合定量的计算和定性的分析，选出最佳方案。达到寿命周期费用最经济的目的。

2.2.2.2 寿命周期费用评价法的计算

设备的寿命周期费用由设置费和维持费两部分组成，设置费一般为一次性投资，而维持费则是贯穿在整个寿命周期内逐渐投入的资金。两种资金在时间概念上是不同的。为了研究寿命周期费用的评价。首先要讨论一下资金的时间价值。

（1）资金的时间价值　同样的资金，在不同的时间，其价值也不相同，即资金具有“时间价值”。例如，今年的1000元，与五年后的1000元不同，若考虑年利息为10%时，今年的1000元，五年以后为1610元，价值不同了，五年后有了增值。由此可见，由于社会上存

在利息，所以就产生了资金随时间的变化问题。

在用寿命周期费用评价法评价不同方案时，必须求出各个方案的费用总和，也就是把设置费和维持费相加起来，否则将无法比较，由于资金存在着时间价值，一次性投资的设置费和逐年花费的维持费不能直接相加，必须通过折算统一后，才能相加。也才能对各方案进行比较。

(2) 复利的计算

① 求终值系数（或称复利系数）及现值系数。有现金 1000 元，存入银行，年利息为 10%(0.1)则有

一年后本利和为　$1000+1000\times0.1=1000\times(1+0.1)=1100$(元)

两年后本利和为　$1100+1100\times0.1=1000\times(1+0.1)^2=1210$(元)

三年后本利和为　$1000\times(1+0.1)^3=1331$(元)

假设令 P 表示现有资金，i 表示年利率，n 表示年限，S 表示 n 年后的本利和，根据上例，不难得出

$$S=P(1+i)^n \tag{2-1}$$

式中，$(1+i)^n$ 为终值系数（或复利系数）。

将式 (2-1) 两边同时除以 $(1+i)^n$ 则得

$$P=\frac{1}{(1+i)^n}\times S \tag{2-2}$$

式中，$\frac{1}{(1+i)^n}$为现值系数。

利用上面两个系数，可将某一时刻的资金价值，换算成任何时刻的价值。

例 1　某设备第三年的维持费为 2500 元，问它相当于设备购置时的多少钱？(年利率$i=10\%$)

由题意知　设备第三年的维持费花了 2500 元，即 $n=3$，$S=2500$ 元，这 2500 元是在第三年实际支出的维持费，要求计算这个维持费相当于设备购置时的多少钱，也就是说，它与三年前的多少钱是等价的，本题是求 P 值，可根据式 (2-2) 求解。

现值系数　$\frac{1}{(1+i)^n}=\frac{1}{(1+0.1)^3}\approx0.7513$

所以　$P=0.7513\times2500\approx1878.25$(元)

即该设备第三年花的 2500 元维持费与设备购置时候的 1878.25 元是等价的，这是由于存在着利息而形成的，换句话说，如果在设备购置的那一时刻，便投入第三年的维持费，则只需 1878.25 元，而不是 2500 元。

② 资本回收系数和等额现值系数。若向银行借 P 元购置设备，拟每年偿还给银行 R 元，年利率 $i=0.08$，根据式 (2-2)，将某 K 年后的 R 元，换算成现在（即开始年）的现值 P_1，则有 $P_1=\frac{R}{(1+i)^1}$，若规定借款 n 年还清，求每年偿还多少元（即 R)?

由上式知　当第一年时 $K=1$，则 $P_1=\frac{R}{(1+i)^1}$表示第一年还 R 元时相当开始年的现值；当第二年时 $K=2$ 则 $P_2=\frac{R}{(1+i)^2}$表示第二年还 R 元时相当于开始年的现值；当第 n 年时 $K=n$，则 $P_n=\frac{R}{(1+i)^n}$表示第 n 年还 R 元时相当开始年的现值。

$P=P_1+P_2+P_3+\cdots+P_n$（向银行所借款＝各年偿还值的现值的总和）

即
$$P=\frac{R}{(1+i)^1}+\frac{R}{(1+i)^2}+\cdots+\frac{R}{(1+i)^n}$$

$$P=R\left[\frac{1}{(1+i)^1}+\cdots+\frac{1}{(1+i)^n}\right]$$

式中，[] 内为等比级数；$\frac{1}{(1+i)}$为公比。若将上式写成 $P=RC$ 的形式，则有

$$C=\left[\frac{1}{(1+i)^1}+\cdots+\frac{1}{(1+i)^n}\right] \tag{2-3}$$

式（2-3）两边同时乘以$\frac{1}{(1+i)}$

则
$$\frac{1}{(1+i)}C=\frac{1}{(1+i)^2}+\cdots+\frac{1}{(1+i)^{n+1}} \tag{2-4}$$

式（2-3）－式(2-4)，则

$$C-\frac{C}{(1+i)}=\frac{1}{(1+i)}-\frac{1}{(1+i)^{n+1}}$$

整理化简，则
$$C=\frac{(1+i)^n-1}{(1+i)^n i}$$

所以
$$P=R\times\frac{(1+i)^n-1}{(1+i)^n i} \tag{2-5}$$

式中，$\frac{(1+i)^n-1}{(1+i)^n i}$为等额现值系数，所谓等额是指每年偿还给银行的钱是相等的，即 R 元。

当知道等额现值系数后（即已知 i 和 n），就可由年平均投资额 R 求总现值 P。

将式（2-5）两边除以$\frac{(1+i)^n-1}{(1+i)^n i}$

得
$$R=P\times\frac{(1+i)^n i}{(1+i)^n-1} \tag{2-6}$$

式中，$\frac{(1+i)^n i}{(1+i)^n-1}$为资本回收系数。当知道资本回收系数，则可由总现值 P 求年平均投资额 R。

例 2 若投资 1000 元，年利息为 10％计划在 5 年内收回，每年的收回额是多少？所谓投资 1000 元，显然是一次性的支出，即 $P=1000$ 元，每年的回收额是指年平均回收额，即 R。已知 $i=10\%$，$n=5$，根据式（2-6），有

$$\frac{(1+i)^n i}{(1+i)^n-1}=\frac{(1+0.1)^5\times0.1}{(1+0.1)^5-1}=\frac{0.161}{0.61}\approx0.2638$$

则 $R=1000\times0.2638=263.8$(元)，每年平均收回 263.8 元，而不是 200 元（因为有利息的缘故）。

2.2.2.3 *设备寿命周期费用评价法*

（1）设备维持费每年相等时的评价方法（年费法和现值法） 在设备的选择方案阶段（购置或研制前）评价设备，可利用寿命周期费用比较的方法。

例 有 A、B 两台设备，购置费 A 为 1000 元，B 为 700 元，A 的年均维持费为 300 元，B 的为 600 元（见表 2-1），问当规定使用年限为 5 年时，哪一台设备总投资较少？

表 2-1　A、B 购置与维持费用表

项　目	设备 A	设备 B	项　目	设备 A	设备 B
设备一次投资(购置费)/元	1000	700	平均每年支出(维持费)/元	300	600

① 年费法。即把一次性投资（购置费）折算成每年平均投资多少以后，再与每年支出的维持费相加，算出年平均总费用，再把各方案加以比较（见表 2-2）。

由例题已知 $n=5$，$i=0.1$，根据式 $R=P\times\dfrac{(1+i)^n i}{(1+i)^n-1}$ 求得资本回收系数 $\dfrac{(1+i)^n i}{(1+i)^n-1}=0.2638$。

表 2-2　A、B 购置与维持费用年值

费　用　项　目	设备 A	设备 B
购置费转化成平均每年投资/元	$R_A=1000\times0.2638=263.8$	$R_B=700\times0.2638=184.66$
平均每年维持费/元	300	600
平均每年总费用/元	563.8	784.66

② 现值法。即把平均每年的维持费，变成一次性投资的当量，然后再与一次性投资相加，求出总费用，进行各方案的比较（见表 2-3）。为了把 A、B 设备的平均费变为一次投资，首先求出现值系数，由式 $P=R\times\dfrac{(1+i)^n-1}{(1+i)^n i}$ 知，现值系数 $\dfrac{(1+i)^n-1}{(1+i)^n i}=3.791$。

表 2-3　A、B 购置与维持费用现值

费用项目	设备 A	设备 B	费用项目	设备 A	设备 B
维持费现值/元	$P_A=300\times3.791=1137.3$	$P_B=600\times3.791=2274.6$	总现值/元	2137.3	2974.6
购置费现值,元	1000	700	结论	设备 A 比设备 B 便宜	

(2) 设备维持费每年不相等时的评价方法（费用曲线法与损益分歧点法）　由于每年所需耗费的维持费不相等，在折算费用时要麻烦一些，为了直观和方便，可把需要对比的方案的费用列表计算，见表 2-4，并绘成曲线（见图 2-2）进行对比。

① 费用曲线，即寿命周期费用曲线（见图 2-2）。定义：设备的寿命周期费用在各年份内的状态曲线称费用曲线。

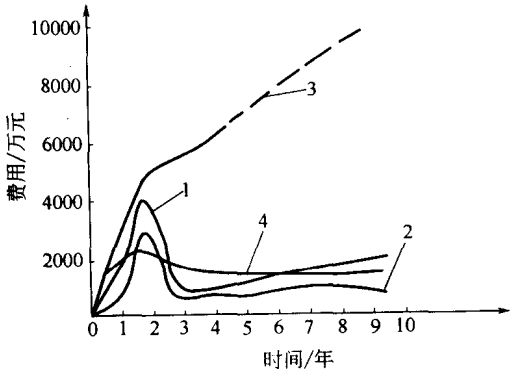


图 2-2　费用曲线

费用的折算及曲线：根据已知历年费用和折算系数算出现值，累计现值和年平均费用，并列入表 2-4 中，以表 2-4 中数据绘出费用曲线如图 2-2 所示，现列举四种曲线的折算方法和费用曲线。

第一种　年实际费用曲线 1，分别表示各年份的费用，它的来源，一是实际的购置费或研制费，二是长期基础工作织累起来的每年的维持费，均为已知。

第二种　经折算的费用曲线 2，把历年的费用 1，应用式 (2-2) 换算成现值（即设备开始年

表 2-4　费用曲线计算数值　　$i=10\%$

项目	曲线序号	1		2	3		4
参数	年 n	费用 S	现值系数 $\frac{1}{(1+i)^n}$	现值 P	累计现值 $\sum P$	资本回收系数 $\frac{(1+i)^n \cdot i}{(1+i)^n-1}$	年平均费用 R
数据	1	1500	0.9091	1364	1364	1.1000	1500
	2	4000	0.8264	3306	4670	0.5762	2691
	3	800	0.7513	601	5271	0.4021	2119
	4	1000	0.683	683	5954	0.3155	1878
	5	1200	0.6209	745	6699	0.2638	1767
	6	1400	0.5645	790	7489	0.2296	1719
	7	1450	0.5132	744	8233	0.2054	1691
	8	1750	0.4665	816	9049	0.1874	1696
	9	1850	0.4241	785	9834	0.1736	1707
	10	2000	0.3855	771	10605	0.1628	1726

度的值），也就是说，开始年度的现值＝费用 1×现值系数，即 $P=\frac{S}{(1+i)}$，见表 2-4 中第五年折算出现值 P 为 1200×0.6209＝745(元)。

第三种　累计费用曲线 3，即将折算后的曲线 2 各值，累加到所计算的年度总值（总现值），见表 2-4 中，第三年的累积现值 $P=P_1+P_2+P_3=1364+3306+601=5271$(元)。

第四种　年平均费用曲线 4，将累计费用 3 乘以某年的资本回收系数，就得出该年度的平均费用，也就是说，费用 3 就是总现值，在此年平均费用 $R=\frac{(1+i)^n i}{(1+i)^n-1}\times\sum(P)$，如第三年的年平均费用为

$$0.4201\times5271=2119(\text{元})$$

上述曲线常用的为第三种和第四种。

可根据费用曲线，对可供选择的设备方案进行比较，并做出合理的决策。

② 损益分歧点法。以某点（金额、年数、其他）为界来区分损益分歧点（break-even point，BEP)。在寿命周期费用评价法中，有以下两种情况运用损益分歧点：将可供选择方案进行比较时；根据收入测算某系统的寿命周期费用回收期时。

下面按顺序加以说明。

根据损益分歧点对可供选择的方案进行比较。设被比较的方案为 A 与 B（见表 2-5)。两种方案应如图 2-3 所示，做出总现值曲线和年平均费用曲线。可做出如下判断。

a. 方案 A、B 的损益分歧点在约在 6.5 年处。因此，若使用期比 6.5 年长，B 方案是经济的；反之，若使用期短于 6.5 年，则 A 方案经济。

b. 如果使用期为 10 年，方案 B 比 A 总现值约便宜 1000 万元。

c. 从年平均费用来看，和总现值的曲线一样，得出 6.5 年为损益分歧点。所以，使用期在 6.5 年以上时，B 方案是经济的；而且，使用期为 9 年时的年平均费用最低。如使用期为 9 年，方案 B 与 A 相比，平均每年可少花 140 万元。

表 2-5　绘制图 2-3 的计算表/万元

年	现值系数	资本回收系数	方案 A				方案 B			
			费用	现值	累计现值	年平均数	费用	现值	累计现值	年平均数
0	1.0000	1.0000	7000	7000	7000	7000	9000	9000	9000	9000
1	0.9091	1.1000	800	727	7727	8500	500	455	9455	10401
2	0.8264	0.5762	1000	826	8554	4929	600	496	9950	5733
3	0.7513	0.4021	1200	902	9455	3802	700	526	10476	4212
4	0.6830	0.3155	1400	956	10441	3285	900	615	11091	3499
5	0.6209	0.2638	1600	993	11405	3009	1100	683	11774	3106
6	0.5645	0.2296	1800	1016	12421	2852	1300	734	12508	2872
7	0.5132	0.2054	2100	1078	13449	2773	1500	770	13278	2727
8	0.4665	0.1874	2500	1166	14665	2747	1900	886	14164	2653
9	0.4241	0.1736	3000	1272	15937	2767	2300	975	15139	2628
10	0.3855	0.1628	3500	1349	17297	2814	2800	1079	16218	2640

注：$i=10\%$。

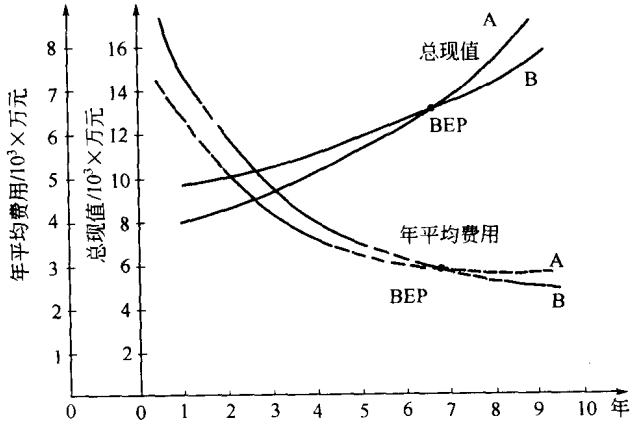


图 2-3　两种可供选择方案的损益分歧点

(3) 固定效率法和固定费用法的计算　有时可固定设备的寿命周期费用，比较不同设备方案的效率，或反过来固定设备的效率而比较不同设备方案的寿命周期费用来比较设备方案的优劣，这样的评价方法称为固定费用法和固定效率法。例如，S 公司为了制定 PX 化学药品制造设备的投资方案，成立了一个规划小组。这种药品的制造方法基本上有 A 和 B 两种。投资方案的系统效率（SE）以日产量表示，寿命周期费用则以相同使用年限的年平均费用表示。

研究的结果，提出了采用 A 方法的 A 方案和采用 B 方法的 B 方案。A 方案日产 375t，寿命周期费用 300 万元。B 方案日产 330t，寿命周期费用也是 300 万元。考虑到产量 330t 也可以满足要求，又采用 A 方法拟订了规模较小的 A′方案。A′方案的日产量为 330t，其寿命周期费用为 275 万元，将这三个方案列成表格进行比较，见表 2-6。

表 2-6　三个方案的 SE 与 SCC 的比较

方案	系统效率 SE/t·d^{-1}	寿命周期费用 LCC/元	方案	系统效率 SE/t·d^{-1}	寿命周期费用 LCC/元
A	375	300	A′	330	275
B	330	300			

将研究结果提交设备委员会审查时，由于考虑到今后出口的需要，在费用相同的情况下选用了生产量多的A方案。这便是固定费用法。假如日产量达到330t就足够了，那么，在能完成330t日产量的前提下，就选中了比B方案费用低的A′方案。这就是固定效率法。无论采用哪种方法，B方案都未被选中。

2.2.2.4 设备效率分析

(1) 综合效率 就是在生产过程中，要求产量（production）高、质量（quality）好、成本（cost）低、按期交货（delivery）、安全生产（safety）、工人操作情绪饱满（morale），也就是说，要完成6个方面的任务，简称P、Q、C、D、S、M，其中P、Q、C是主要的，而D、S、M则是完成P、Q、C的保证。

综合效率公式

$$\eta=\frac{y_2}{y_1}=1+\frac{y}{y_1} \tag{2-7}$$

式中 η——设备综合效率；

y_1——总输入等于LCC；

y_2——总输出P、Q、C、D、S、M；

y——利益。

设备效率与输出输入有关，希望y_1愈小而y_2愈大愈好，具体地讲y就是设备寿命周期费用（设置费+维持费），而y_2是综合的，与产量、质量、安全环境等定量和定性的因素有关。

(2) 费用有效度（cost effectiveness，CE，也称费用效率）

① 费用有效度。它是用系统效率（system effectiveness，SE）与寿命周期费用之比来表示，即

费用有效度＝系统效率/寿命周前费用

或

$$CE=SE/LCC \tag{2-8}$$

式中，系统效率SE可用产量、产值、利润等表示，也可用可靠性、维修性、维修效率、舒适性、可使用性等指标表示。计算SE是比较复杂的，要根据不同的设备系统确定其计算方法。设备投资的目的是多种多样的，当计算费用有效度CE时，哪些应作为投资效果计入系统效率SE，哪些应计入寿命周期费用LCC，常常难以区分。一般计算中SE多用具体量表示。

例如，现有A、B、C三套装置，已知它们的寿命周期费用和生产率，求费用有效度。在该例中，给出的是费用和生产效率，主要是提高生产效率的问题，故应以生产效率为衡量系统效率的指标，求得投资效益，根据CE＝SE/LCC分别求出两套装置的CE，列于表2-7。

表2-7 三套设备的CE计算

装置名称	LCC/万元	SE/t·a^{-1}	CE/(t·a^{-1}/万元)	评价	装置名称	LCC/万元	SE/t·a^{-1}	CE/(t·a^{-1}/万元)	评价
A	120	1620	13.5	最差	C	100	1410	14.1	最好
B	110	1510	13.7	一般					

由表2-7得知同样投资1万元，而装置C的效益最好，效率最高，也就是说选择三套装置中的C装置可以做到寿命周期费用最少，综合效率最高。在实际的管理工作中，很少能

得到费用最少而效率最高的方案，有时费用最低但效率不一定最好，必须在选择的方案中对费用与效率进行权衡。

② 系统效率与寿命周期费用之间的权衡。如何提高费用效率，发展生产是企业较关心的问题，下面利用式 CE＝SE/LCC＝SE/(AC＋SC)加以讨论。

现举例说明。

a. 购置费 AC 与维持费 SC 之间的权衡（收益相同）。

某生产线 AC＝100 万元，SC＝200 万元，SE＝600 万元

$$CE_1 = SE/(AC+SC) = 600/300 = 2。$$

若提高 AC＝150 万元（购置费提高了），换来降低 SC＝120 万元，维持费降低了，则

$$CE_2 = 600/270 = 2.22 > CE_1$$

所以费用效率提高了。这是着眼于提高流水生产线的设计性能，以减少维修工作，采用可靠性设计、可维修性设计、节能设计、在设计阶段考虑防止操作失误或维修失误的可能性等，这样便在设备创造的收益不变情况下，也能提高效率。

b. 系统效率 SE 与购置费 AC 维持费 SC 之间的权衡。若 AC 由 100 万元提高到 120 万元，SC 由 200 万元提高到 210 万元其结果是设备性能提高、故障少、修理少、维护工作搞得更好、设备好用，致使产品产量质量等提高。系统效率 SE 由 600 万元，提高到 720 万元，这时

$$CE_3 = 720/330 = 2.18 > CE_1$$

这一权衡，着眼于提高设备的设计性能，增强运转中的可靠性，虽然购置费和维修费都有所增加，但设备能力增大（如产量），产品精度提高，从而产品售价售量可以提高，而获得更多利益，致使费用有效度增长。

总之，研究寿命周期费用最经济，目的是在设备的使用期内效率最高，费用最经济。我们的工厂，过去多年的设备工作何尝不是为了这个目的，但由于传统的设备管理体制只管后半生，无法全面考虑有效利用设备和最大限度地发挥设备投资效益的问题。设备综合管理提供了这一条件。

近年来研究寿命周期费用的问题已被许多企业所重视，局部地开展了一些工作，取得良好效果。

例 大连化学工业公司碱厂应用寿命周期费用评价法，对碳化塔改造前后的系统效率进行比较，就是把现代设备管理理论用于实践的良好开端。

纯碱生产碳化塔，目前仍沿用以灰口铸铁为主要材料，一般情况下，塔体寿命比较长，实际运行达 20 年左右，而铸铁冷却管一般只能用 3 年左右，造成了设备连续运转的时间短，检修时间长，材料能源浪费大。为了延长冷却管寿命，达到部件寿命均化，设备匹配完善，提高经济效率，该厂采用腐蚀率只有铸铁管 1/639 的全钛管代替了铸铁管，估计全钛管寿命将超过 20 年，与塔体匹配是有余的。经改造后，钛管碳化塔 1982 年投产使用，效果良好。改造前后的寿命周期及费用状况见表 2-8。

若以生产量利润为系统效率进行费用有效度的计算，从而对比两个方案的投资效果。根据

$$\text{费用有效度} = \frac{\text{系统效率}}{\text{寿命周期费用}} = \frac{\text{系统效率}}{(\text{购置费}+\text{维持费})}$$

将表中参数代入可得

表 2-8　改造前后的寿命周期及费用状况

类　别	项　目	代号	铸管①	全钛管②	说　明
固定资产	固定资产值/万元	P	52	105	①折旧年限按原化工部 1983 年规定
	折旧年限/a	n	12	12	
	残值/万元	S	5	5	
寿命周期	大修周期/a		8	12	① 大修 45d/次 ② 大修 30d/次 ① 堵漏(16 次/a)×7.5h ② 堵漏(2 次/a)×6h ① 清扫(2 次/a)×2d ② 清扫(2 次/a)×1d ①②系统大停 7d/3a
	一生大修时间/d		135	30	
	一生堵漏时间/d		60	12	
	一生清扫时间/d		48	48	
	系统大停时间/d		28	56	
	一生停机时间/d		274	158	
	一生开机时间/d	T	4106	8602	
可比维持费/万元	一生大修费		40.5	4	
	一生清扫费		1.3	0.26	
	一生堵漏费		19.3	3.86	
	一生结疤损失		70.6	14	
	Σ	C_n	132	22	
可比利润	一生的产量利润/万元	C_i	3593	7527	企业界限利润率 $i=87.5/429\approx20\%$

费用有效度

$$CE=\frac{C_1}{P+\frac{C_n}{n}\times\frac{(1+i)^n-1}{(1+i)^n i}}$$

式中，$\frac{(1+i)^n-1}{(1+i)^n i}$为等额现值系数，$i=20\%$。

根据上述公式求得铸铁管型塔的费用有效度 $CE_{铁}$

$$CE_{铁}=\frac{3595}{52+\frac{132}{12}\times\frac{(1+0.2)^{12}-1}{(1+0.2)^{12}\times0.2}}=\frac{3595}{101}=35.6$$

根据上述公式求得全钛管型塔的费用有效度 $CE_{铁}$

$$CE_{铁}=\frac{7527}{105+\frac{22}{24}\times\frac{(1+0.2)^{24}-1}{(1+0.2)^{24}\times0.2}}=\frac{7527}{109.5}=68.7$$

$$CE_{铁}>CE_{铁}，\frac{CE_{铁}}{CE_{铁}}=\frac{68.7}{35.6}=1.93$$

结论

a. 全钛管型塔的费用有效度比改造前铸铁管型塔的费用有效度高出近一倍；

b. 由图 2-4 看出，虽然钛管型塔一次性投资（设置费）比铸铁管型塔高出一倍多$\left(\frac{105}{52}=2.02\right)$，但因钛管抗腐蚀性极强，大大降低了一生的维持费，铸铁管年均维持费 11 万元，而钛管型平均维修费只有 0.92 万元，为铸铁管型的 1/12。

这一事例表明：

a. 在设备的设置、改造或更新时不能只考虑一次性投资的购置费或改造费，必须同时

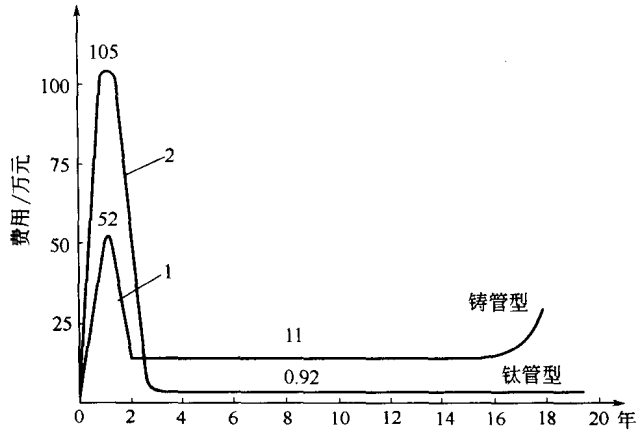


图 2-4　碳化塔寿命周期费用

考虑使用中的维持费；

b. 不能只考虑费用，必须同时考虑费用效率，才能实现寿命周期费用的最经济、综合效率最高；

c. 寿命周期费用的研究有着广泛的前景，可给企业带来实在的好处。

2.2.2.5　设备寿命周期费用评价中的不准确性

(1) 费用的不准确性和不确定性　寿命周期费用评价法，必须在准确的数据基础上进行各种费用的估算，评价对设备购置或系统的设计规划才有实际意义。但是从费用的构成便可看到，它们多为估计值，存在着不准确性，也存在着不稳定性。因此在评价过程中，应该给予重视并做出具体的分析。费用类型大致分为以下几项。

① 准确值的不确定性。在费用数据中，有一部分是准确值，如某一时期某种设备的购置费、能源（电、燃料、油料）费等。但这种费用会随着时间不同价格有所浮动，有时会涨价或跌价，故存在着不确定性，在评价时的价格可能与过去统计数据不相符合。

② 不准确值。在费用数据中，一部分数据本身就存在着不准确性，如维修费配件加工费等，因为它们是多种因素（或费用）的综合，如维修工时定额、工人实际修理时间、各种修理材料等，在统计时都会由于这样或那样的原因而不准确。

③ 变动值。如使用期（寿命周期）的缩短或延长、利率的变化、各种税金的变动等。

分析上述因素应区分以下两种情况：一是对变量的概率分布有所了解，但是由于无规律因素的存在，不能准确地估算和评价，应进行“风险分析”；二是因为没有足够的数据和信息，不掌握某种变量的概率分布，应进行“不确定性分析”。

只有判定了估算值的准确程度，才能对寿命周期费用做出恰如其分的评价，进而做出正确的决策。

(2) 不确定性的分析　现仅以对不确定性的分析，说明研究寿命费用必须具有动态观点，以期达到实际效果。

不确定性分析也称敏感度分析。所谓敏感度分析，是指对设备的决策产生影响的重要因素发生变化时，对决策影响程度的分析。

分析步骤：

确定方案，即经过费用、效率评价后，选定某一较理想的方案；

逐个改变重要影响因素，并检查这些因素对方案的影响的程度；

挑出对系统效率和费用影响最大的重要因素，将评价工作更进一步深化，减少误差，接近实际，取得好效果。

现以 NPV 法研究准确值的不确定性和变动值对现值的影响。至于不准确值，应从加强基础工作，提高管理水平方面去解决。

检查对净总现值影响程度的方法，也称 NPV（net present value）法或净总现值法。现举例说明（见表 2-9）。

有一成套设备，购置费为 1000 万元，寿命周期为 10 年，投入使用后，每年净利润（净收入）现金见表 2-9 中①，10 年总共收入现金 2100 万元（利润），若已知各年份的现值系数②，则可求得各年份的现值③＝①×②，将各年现值相加，共得净现值（除去上缴利润和购置费）1000 万元。

表 2-9　净总现值计算模型

年	①收入现金/万元	②现值系数（i=10%）	③＝①×②/万元	年	①收入现金/万元	②现值系数（i=10%）	③＝①×②/万元
0	−1000(购置费)	1.0000	−1000(购置费)	6	300	0.5645	169.4
1	400	0.9091	363.6	7	280	0.5132	143.7
2	380	0.8264	314	8	260	0.4665	121.8
3	360	0.7513	270.5	9	240	0.4241	101.8
4	340	0.683	232.2	10	220	0.3855	84.8
5	320	0.6209	198.7	实际总收入	2100		1000

表 2-9 中的数据是过去积累的，随着时间的变化，许多重要因素发生了变化，如购置费涨价，由于产品销售的减少而使现金收入减少等，在寿命周期费用评价时，应注意变化因素对现值收入的影响。

现研究各重要因素变化时对净现值的影响即敏感度分析（见表 2-10）。

表 2-10　敏感度的分析

重要因素	NPV/万元	ΔNPV/NPV	重要性顺序	附　注
基本方案	1000			
设置价格提高 5%	950	50/1000＝0.050	第四	
使用年限缩短 2 年(由 10 年缩短到 8 年)	813.4	186.6/1000＝0.187	第二	缩短使用年限两年，减少近 20%的收入
现金收入减少 10%	800	200/1000＝0.200	第一	影响因素多，应进一步分析
所得税率提高 3%(50%～58%)	880	120/1000＝0.120	第三	提高后为 100 则增加 6%

① 若购置费提高 5%。则

$$\text{购置费提高现值额}=\Delta NPV=1000\times 5\%=50(\text{万元})$$

$$\text{提高后的购置费现值}=NPV(\text{新})=1000+\Delta NPV=1050(\text{万元})$$

$$\text{净现值}=950\ \text{万元}$$

$$\text{现值变化率(提高率)}=\frac{\Delta NPV}{NPV(\text{原})}=\frac{50}{1000}=0.050$$

② 若将使用年限缩短 2 年。原来 10 年收入总现值为 1000 万元，去掉 2 年收入 186.6 万元（第 9 年 101.8 万元，第 10 年 84.8 万元），收入总现值只有 813.4 万元。

现值减少 $\Delta NPV = 101.8 + 84.8 = 186.6$(万元)

$$现值变化率 = \frac{\Delta NPV}{NPV(原)} = \frac{186.6}{1000} \approx 0.187$$

③ 若现金收入减少 10%。在 2000 万元总收入现值中（未扣除设置费）减少了 1000 万元购置费，则收入总现值只有 800 万元。

则
$$现值变化率 = \frac{\Delta NPV}{NPV(原)} = \frac{200}{1000} = 0.200$$

④ 所得税若提高 3%。表 2-9 中 2000 万元总现值收入是上缴了 50%的所得税以后剩下的，故原利润共为 4000 万元。现增加 3%的所得税，$\Delta NPV = 4000 \times 0.3 = 120$ 万元。从 2000 万元收入中减去 1000 万元购置费和新增加的所得税 120 万元，只收入 880 万元。

则
$$现值变化率 = \frac{\Delta NPV}{NPV(原)} = \frac{120}{1000} = 0.120$$

从上面计算得知：在其他条件不变的情况下，将表 2-10 中四个重要因素分别加以变动，经计算得出新的 ΔNPV 净现值和变化率 ΔNPV/NPV 的值，从表中知，现金收入减少 10%一项，变化率值最大。也就是说，在四个重要因素中，它的影响最大，其次是使用年限缩短的影响，第三是所得税提高的影响，最后才是购置费提高的影响。

因此，对现金收入降低的问题要着重研究，针对主要影响因素采取提高产品质量降低成本，扩大销售额等措施增加总现值收入。总之，寿命周期费用评价的方法是建立在数据统计的基础上，是动态的方法，必须实事求是地运用它分析、研究和解决问题，才会卓有成效。

2.2.3 寿命周期费用评价法实例（作业用工具车的选定）

这个事例是关于地面作业和联络用的工具车，主要从寿命周期费用的角度，对过去使用的安装汽油机和柴油机的工具车的优劣加以比较研究。近来，随着燃料价格的上涨，对汽车用柴油机的看法有了改变，它们在普通轿车上也逐渐推广使用了。汽油机和柴油机的优劣，当然不能只凭寿命周期费用来决定，这里是在单纯化的条件下进行考虑的。

(1) 评价要素　在吨位大致相同的情况下，装汽油机的汽车和装柴油机的汽车一般应按下列项目进行评价。

启动性　启动的难易

舒适性　噪声、振动等

性能　　加速性能、最高速度等

经济性　购置价格、维修费、燃料费、寿命等

首先是启动性，柴油机因其特有的预热操作稍稍麻烦些，但就普通作业和联络而言，加上柴油机的进步，在实用方面几乎不成为问题。在舒适性方面，由于柴油机的噪声和振动较强，这个问题对于轿车必须慎重研究，但这里的使用时间很短，应该是不成问题的。

关于性能，柴油机的输出功率要比相同排气量的汽油机小，故排气量要稍稍加大，然而加速性能和最高速度仍要低些。不过，这一点对于规定的用途还不足以构成缺点。

那么，评价的焦点就是经济性了。所关心的问题是：柴油机工具车购置价的高出部分，要经过多少时间才能由使用时燃料费用的低廉部分来弥补，更进一步则成为有利。随着柴油机的推广使用，其产量增长而价格下降，故购置价格的差别也趋于缩小。

柴油机的特点是：由于压缩比高，故热效率也高，以及用作燃料的轻柴油价格低廉。在日本，大型公共汽车几乎已经柴油机化，使这些特点得到了充分发挥，轿车也在逐步受到这种影响。

(2) 计算寿命周期费用的各要素　在本例的寿命周期费用计算中，提出了以下几个项目。

① 车种对象。作为评价对象的车种是装汽油机（1400mL）的小型工具车和大体相同的装柴油机（1600mL）的小型工具车。

② 购置价格。在全部价格中包含了购置税和各种经费等。100 万日元左右这一级的汽车，装柴油机的车大约贵 20 万日元。

③ 使用年限。每年的行车距离虽然比较短，但因使用条件很差，根据车身的腐蚀等情况寿命为 7 年左右，同安装何种发动机无关。

④ 残值。因是供作业用的，使用 7 年后将成为废料，实际的残值定为 5000 日元左右。

⑤ 维持费。在维持费中，除了维修以外还包括保险费、汽车税、载重量税等。在维修费中，除了日常的点检和修理外，还包括进行车检的费用。目前尚无柴油机维修的详细资料，但考虑到现在发动机的可靠性提高了，一般情况下无大修理的必要，故可认为两种发动机的维修费没有差别。

本事例中包括更换一般的部件、所有定期进行的检查和维修，都定有年度合同，装汽油机和装柴油机的车辆费用相同，今后需考察实际的费用情况。

估计的维修费上涨率为 8%。保险费和税金的情况难以清楚地预见，这里将费用的上涨率每 3 年定为 15%。

⑥ 运行费。在运行费中，除燃料以外还要消耗各种油料，这里只考虑在运行费中占大部分的燃料。每年两种车的行驶距离均为 16700km，汽油机工具车的燃料消耗平均为 7.6km/L，柴油机工具车平均为 14.0km/L，燃料单价：汽油机每升 150 日元，轻柴油每升 80 日元。

燃料单价的今后趋势还不清楚，暂且把价格上涨率定为每年 8%。后面，对价格上涨率的影响也要加以分析。

⑦ 利率。按 10%计。

计算寿命周期费用的各要素归纳可见表 2-11。

表 2-11　寿命周期费用的各要素/千日元

要素名称		A(1400CC 汽油机工具车)	B(1600CC 柴油机工具车)	备注
投资额	工具车本身价格	857.80	1087.00	
	购置税	33.85	45.30	
	同购置有关的各项经费	24.70	29.40	
	小计	916.35	1161.70	
残值		5.00	5.00	
使用年限		7a	7a	
维持费	维修费	275.16/a	275.16/a	费用上涨率:8%/a 费用上涨率:每 3 年为 15%
	保险费	19.05/a	19.05/a	
	汽车税	10.00/a	12.60/a	
	重量税	8.80/a	8.80/a	
	小计	37.85/a	40.45/a	
运行费	一年内的行驶里程/km	16700	16700	费用上涨率:8%/a
	燃料消耗/km·L^{-1}	7.6	14.0	
	燃料单价/日元·L^{-1}	150	80	
	小计	329.61/a	95.43/a	
利率		10%	10%	

(3) 寿命周期费用的计算结果　根据上述各要素计算出的现值总额和年平均费用的结果，见表 2-12 和表 2-13。根据表中数据，A（安装汽油机的）和 B（安装柴油机的）绘出的寿命周期费用年平均值曲线示于图 2-5，寿命周期费用现值总额的曲线示于图 2-6。

(4) 寿命周期费用计算的分析　首先从表 2-12 和表 2-13 看出现值总额，在 7 年内 A 是 4701 千日元，B 是 3608 千日元，可知 B 的寿命周期费用便宜得多。年平均费用 A 为 996 千日元，B 为 741 千日元。

可见，购置时 B 的费用虽高，但由于柴油机的热效率高和轻柴油价低，运行费降低部分在短时间里就可补偿购置价的高出部分，此后每年都可获利。

表 2-12　A(安装汽油机）的现值总额与年平均费用/千日元

项　目	年　份								现值额(百分比)
	0	1	2	3	4	5	6	7	
投资额	857.80								857.80(18.3%)
残值								Δ5.00	2.57(Δ0.1%)
维修费		275.16	297.16	320.97	346.62	374.35	404.30	436.64	1658.37(35.3%)
保险费和税金		37.85	37.85	37.85	43.53	43.53	43.53	50.06	202.15(4.3%)
运行费		329.61	355.98	384.46	415.21	448.43	484.31	523.05	1986.52(42.3%)
小计	857.80	642.62	691.00	743.28	805.36	866.31	932.14	1004.75	
现值系数	1.0000	0.9091	0.8265	0.7513	0.6830	0.6209	0.5645	0.5132	
现值	858	584	571	558	550	538	526	516	
现值总额	858	1442	2013	2572	3121	3659	4185	4701	
资本回收系数		1.10000	0.57619	0.40211	0.31547	0.26380	0.22961	0.20541	
年平均费用		1586	1160	1034	985	965	961	966	

表 2-13　B（安装柴油机）的现值总额与年平均费用/千日元

项　目	年　份								现值额(百分比)
	0	1	2	3	4	5	6	7	
投资额	1161.70								1161.70(32.2%)
残值								Δ5.00	2.57(0.1%)
维修费		275.16	297.17	320.95	346.62	374.35	404.30	436.64	1658.34(46.0%)
保险费和税金		40.45	40.45	40.45	46.52	46.52	46.52	53.50	214.97(6.0%)
运行费		95.43	103.06	111.31	120.21	129.83	140.22	151.44	576.14(15.9%)
小计	1161.70	411.04	440.68	472.71	513.35	550.70	591.04	636.58	
现值系数	1.0000	0.9091	0.8265	0.7513	0.6830	0.6209	0.5645	0.5132	
现值	1162	374	364	355	351	342	334	327	
现值总额	1162	1536	1900	2255	2606	2948	3282	3609	
资本回收系数		1.1000	0.57619	0.40211	0.31547	0.26380	0.22961	0.20541	
年平均费用		1690	1095	10007	822	778	754	741	

那么，在什么时候 B 的费用能够同 A 相等或低于 A 呢？观察图 2-5 的交点就可以判定。在这个图上，1～2 年之间有交点，可知使用 2 年以上 B 有利。这个点称为损益分歧点(break even point)。但是，按照表 2-11 所列的各要素，计算出的所需费用同实际费用会有

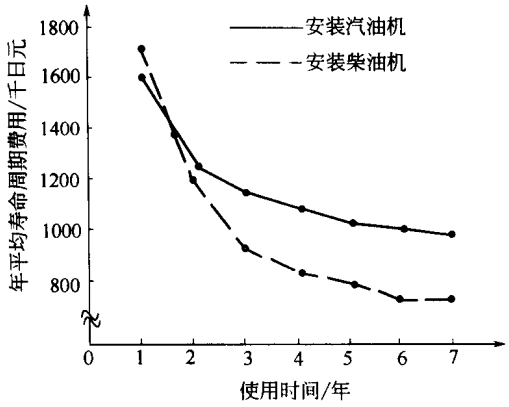


图 2-5　作业工具车的年平均 LCC

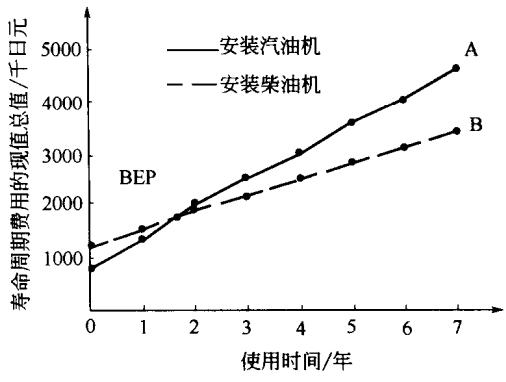


图 2-6　作业工具车的 LCC 的现值总额

若干差异，进行判断时，有必要对这个问题加以考虑。

在这项预算中，所用的费用上涨率和利息毕竟是假设的，实际上会有变动。不过，按这些要素对基本的寿命周期费用进行计算之后，可根据需要将一部分要素的数值加以变更再作计算，并对得出的情况进行分析判断。

(5) 根据 LCC 计算做出分析　通过以上的计算，已知了解了寿命周期费用的概要。下面研究部分要素改变的情况（计算从略）。

按现值总额计的各项费用的百分比见表 2-14。

表 2-14　各项费用的百分比

费用项目	A(安装汽油机)/%	B(安装柴油机)/%	费用项目	A(安装汽油机)/%	B(安装柴油机)/%
投资额	18.3	32.2	保险费和税金	4.3	6.0
残值	0.1	0.1	运行费	42.3	15.9
维修费	35.3	46.0			

① 柴油机的燃料单价上涨时。柴油机用轻柴油作为燃料，单价按 80 日元/L 计算（汽油单价为 150 日元/L）。随着柴油机的普及，轻柴油的价格必然要上涨，故改按 100 日元/L 来计算。

按照表 2-13（柴油机）的情况，运行费只占现值总额的 15.9%。如轻柴油的单价从 80 日元/L 变为 100 日元/L，上涨了 25%。现值总额由 575 千日元变成 719 千日元。运行费也占只现值总额的 19.2%，对总体没有大的影响。在图 2-6 上 BEP 稍稍向右移动，仍在 1～2 年之间没有变化，从寿命周期费用来看 B（柴油机）有利。

② 柴油机的燃料单价与汽油相同时。作为最极端的情况，设轻柴油的单价与汽油相同，但因柴油机的热效率高，故可节省燃料的消耗。在这种情况下，运行费的现值总额由原来的 575 千日元增加到 1078 千日元，而现值总额由原来的 3607 千日元增加到 4111 千日元，同 A（汽油机）的 4701 千日元之间的差值有较大缩小，图 2-6 的 BEP 仅从 1～2 年间移到了 2～3 年间，所以，柴油机方案的有利情况不变。

到此，各种情况下寿命周期费用的优势能否保持的问题都已研究过了。

③ 燃料单价的上涨率成倍增加时。在各要素中，燃料单价的上涨率原来按 8%计，假如这个上涨率成倍增加为 16%，其结果见表 2-15。

表 2-15　燃料单价的上涨率为 8%和 16%时 A、B 的总现值/千日元

燃料单价的上涨率	8%	16%	燃料单价的上涨率	8%	16%
A 的总现值	4701	5188	A 与 B 之差	1093	1439
B 的总现值	3608	3749			

总之，因为单价上涨率成倍增加，A、B 两者的运行费的差值越发增大。图 2-5 中的 BEP 当然会有某种变动，但仍在 1～2 年之间。

(6) 结论　关于安装汽油机和安装柴油机的工具车的寿命周期费用，根据最初的各要素值进行了计算，然后又将部分要素的值作若干变化后进行了研究。变化后的条件虽然相当不利，但由于柴油机的油耗低，故运行费少，其差额超过了新车购置价的超出部分。不仅在 7 年役龄期满后寿命周期费用低，实际上，在 3 年内的现值总额便已低于汽油机工具车，可知其为有利。

2.3　可靠性维修性工程

(1) 可靠性问题的提出　可靠性问题的严重性是在第二次世界大战中反映出来的，从而引起有关国家的军事工业生产和科学研究部门的重视，并作为重大的科学技术问题加以研究。

第二次世界大战末期，法西斯由于使用 V-1 火箭中出现失灵的问题，开始进行可靠性的研究，后因战败而告终。同一时期，美国运到远东的航空设备及电子元器件，在运输和保管过程中有 60%失效而不能使用，其余待送到前线岛屿和舰船上时，其中的 50%又不能工作。这种不经使用就遭到重大损失，从而导致人员的严重伤亡，甚至影响到某些战役的成败的情形，促使美国投入力量开始进行可靠性研究工作。1943 年成立了可靠性研究小组，这就是可靠性研究的开始。到 20 世纪 60 年代末，可靠性的研究已从狭义的可靠性发展成广义的可靠性，即包括可靠性、维修性和可用性。今天，可靠性工程已成为多种学科结合的边缘学科，其应用范围从航空、军事、宇宙工业推广到各行各业，包括造纸工业。

设备在动态的使用过程中经常要出故障，出了故障总是要修复，以恢复其原有的功能。为了研究故障与修理，逐步发展了可靠性、维修性的理论和工程。可靠性、维修性方面的理论被应用于工程实践的各个领域，由于设备的结构越来越复杂，性能不断向自动化、电子化发展，设备产品升级换代的步伐愈来愈快，可靠性、维修性理论的应用范围也从电子设备扩展到包括机械设备在内的各种类型的设备和系统。现代生产对设备的依赖性增加了，故设备停机的损失也就增加了，可靠性、维修性理论的应用，使各种设备特别是高级设备的故障停机损失大大下降。尤其在近几年来，人们认识到了系统开展设备管理的必要性，按照系统的观点开展设备综合管理来谋求提高设备的综合效率。这就促进了可靠性、维修性理论的发展，而可靠性和维修性管理也逐渐成了设备综合管理的支柱。

(2) 产品不可靠的原因　产品出现可靠性不高的直接原因和间接原因很多。但其主要因素，有以下 4 个方面。

① 人类对自然的认识有限。尽管目前人类在科学技术及生产方面取得了巨大的成就，但人类对自然的认识，对工程技术掌握的程度毕竟是有限的，没有开发和研究的领域很广阔。在产品的规划、设计、研制及生产时，尽管人们事先对各种可靠性都要进行研究和估

计，但往往不能做到尽善尽美。人们是以有限的知识进行工作的。在新材料、新工艺、新结构等应用速度大大加快的今天，特别是产品使用的环境条件严酷的情况下，意想不到的现象是常有的。因而，产品不可靠的问题就由此产生。

② 产品的复杂性。若要求产品提高质量或增加功能时，自然一般都要增加结构的复杂性。这也意味着所包含的零部件数量会增多。显然，在设备运行中，任何一个零部件发生故障都会影响到整机的正常运行。一般来说，随着产品在质的方面水平提高及量的方面复杂化，总要影响可靠性。

③ 人的差错。产品生产的自动化程度无论怎样提高，也不会把人从生产系统中排除出去。相反，会越来越显示出进行高级判断的人的重要性。然而，人们的能力是有限的。尽管各种标准规范、工艺文件等制定得较为完善，也不能排除人的差错。

若为了避免系统中的人出差错，就要提高操作和检测的自动化水平。这样一来，系统会变得更复杂，系统的可靠性也就会下降。

对人的高级判断的水平要求愈高，则人的差错对系统的影响也就愈大，这种矛盾也越来越显著。

应该指出，在系统中由于人的差错造成的事故也是常见的。

④ 组织的复杂化。许多产品及制造这些产品的生产系统，其规模越来越大，生产组织机构也较复杂，所牵涉的工业部门也较多。而各技术部门之间及各企业之间的工作协调和技术情报信息的传递等方面的差错，对于产品的可靠性将有很大的影响。

(3) 可靠性工作的意义　产品（包括系统、设备、部件）可靠性不高可能会造成经济和人员的重大损失，也可能对军事和政治产生严重后果。

在航空、铁路、公路及航运交通系统中，因设备的不可靠造成的重大事故是惨痛的。制浆造纸厂、化工厂、核电站及各种车辆的动力装置不可靠会使环境产生严重污染。

产品可靠性不能满足顾客的使用要求时，可使产品销路下降，造成产品积压而贬值，并使产品失去信誉和竞争能力。

在造纸生产线上的检测装置和电子计算机失灵时，会在短时间内造成大量废品。

为了具体说明可靠性的重要性，这里引用国外公布的一些统计数字。

1958 年前苏联由于产品不可靠，质量低劣而造成 1500～2000 亿卢布的损失；

1976 年澳大利亚因造纸设备质量低劣，可靠性水平不高而损失 8～10 亿美元，约有 15 万家小企业濒于破产。

我国在自己生产和使用产品实践的基础上，吸取了外国的先进经验，开展了可靠性工作。逐步扩大了可靠性工程的应用领域，并在可靠性工作上取得了很大的进展。

2.3.1　可靠性工作的基本内容及一般程序

可靠性工程是一门综合运用多学科知识的工程技术学科。可靠性工作的内容极为广泛，就其基本内容来说，可大致分为：可靠性技术、可靠性基础、可靠性管理。

(1) 可靠性技术方面的主要内容　包括：零件的可靠性工作、整机的可靠性工作、使用的可靠性、可靠性评价工作、可靠性标准工作。

(2) 可靠性基础方面的主要内容

① 技术理论基础。可靠性数学、可靠性物理、环境技术、可靠性设计技术、可靠性预测技术、数据处理技术、试验技术等。

② 可靠性研究的基本设备。环境试验设备、可靠性寿命试验设备、特殊检测设备、分

析设备、测试设备、辅助设备等。

(3) 可靠性管理工作的主要内容　制定可靠性规划、可靠性管理规范、建立可靠性管理体系、可靠性标准、建立可靠性数据交换及反馈制度、可靠性监督与审查、可靠性宣传与技术教育、情报资料及技术交流等。

产品的可靠性是由产品的规划、设计、研制、生产及使用等各阶段决定的。因而，可靠性牵涉的范围很广。就设计及生产而言，牵涉到原材料、配件、设备及仪器等生产部门。就使用而言，包括了产品的运输、贮存、应用及维修各阶段的有关部门。在技术上，可靠性是一种综合性技术。因此，所需要具备的基础学科也较为广泛。在组织管理上，则需要从国家工业部至企业单位都设立专门的机构来从事可靠性管理、规划、制定政策及组织领导工作。

可靠性工程投资一般较大，耗时较长。因此，要从社会的总体应用效果来权衡其经济效果和政治效果。可见，可靠性工作还与国家经济制度、管理政策及国际上的技术标准政策密切相关。

2.3.2　可靠性工程的基本理论

(1) 可靠性 (reliability)　定义是“产品（设备）在规定的条件下，在给定的使用时间内，完成规定功能的能力”。

可靠性的概念有广义的和狭义的两种：狭义的可靠性概念指的是设备在规定的时间内发生故障的程度，即不发生故障或少发生故障。广义的可靠性概念指的是设备在其整个寿命周期内完成规定功能的能力，包括狭义的可靠性和维修性，即设备质量高、故障少、工作时间长、出了故障能很快的修复。

(2) 可靠度　定义是“产品（设备）在规定的条件下，在规定的使用时间内，完成规定功能的概率”。

概率、功能（良好的性能）、时间和特定运行条件是可靠度的四大要素，下面分别加以说明。

① 第一个要素——概率。为了说明概率这个概念，首先介绍一下随机事件，所谓随机事件，是在一次试验中，可能出现也可能不出现，但在大量重复试验中具有某种规律的事件，称为随机事件。

一个随机事件发生的次数称为频数，这个频数被试验的总次数除结果称为频率。当试验次数足够多时，频率趋于一个常数，称之为概率。

设某随机事件 A 在 n 次试验中，出现 m 次，则称比值 $f_n(A)=m/n$ 为事件 A 出现的频率，m 为频数。$0<m<n$，当 n 充分的大的时候，$f_n(A)$ 就稳定在某一个常数 $P(A)$ 的附近。也就是说 $f_n(A)\approx P(A)$，称 $P(A)$ 为随机事件 A 的概率，概率 $P(A)$在 0～1 范围内，因为 $0<m<n$，当 $m=0$ 时，$P(A)=0/n=0$，当 $m=n$ 时，$P(A)=n/n=1$，所以 $0<P(A)<1$。

例如，掷硬币，问正面朝上的概率为多少？正面朝上为随机事件 A，$P(A)$表示其概率，当我们取硬币总试验次数 N 较小时，不易找出精确的结果，如 $N=10$ 时，可能有 7 个或 3 个或某几个正面朝上；当 N 增大时，如取 N 为 100，1000，10000，……甚至更大时，试验结果表明，掷硬币正面朝上这一事件的概率 $P(A)\approx 50\%$。

又如，某设备工作到 80h 的幸存率为 75%，就是表示该设备在 100 次试验中，有 75 次可正常运转 80h，这时的幸存率即该设备运转到 80h 的可靠度，同样也可以用概率表示。以

概率表示的可靠性，称为可靠度，用 $R(t)$来表示。

② 第二要素——功能。在工程实践中，对于一个系统或是设备，必须规定良好的性能标准，要有定性的、定量的指标。如飞机按照规定的速度、航程等安全航行，机床按其精度、加工范围完成制造产品的任务等。

③ 第三要素——给定的时间。时间是可靠度的重要参量。研究可靠度时，必须明确研究哪一时间内或哪一时刻的可靠度，对于设备可以是寿命周期或规定的某一段使用时间，设备运行中，指的是可以工作的时间，有时也因使用对象不同而用次数、周期、运输距离等相当于时间的参量表示，任何一种可靠性的计算，都必须给出时间。

④ 第四个要素——规定的条件。指设备工作的环境条件，如温度、压力、振动、酸、碱溶液、保养状况，正常使用还是超负荷使用等。

(3) 可靠性函数　为了介绍可靠性的定量计算，先介绍可靠性的基本函数，也可称之为衡量可靠性的指标。

① 可靠度 $R(t)$。在我国把可靠性用概率表示时，称为可靠度或无故障概率，常用 $R(t)$表示。

假如设备规定使用时间为 t，该设备能够连续工作的时间为 T，当 $T>t$ 时，称设备在规定的时间内能完成规定的功能。$T>t$ 是一个事件，这个事件有可能实现也有可能实现不了，所谓实现不了，就是说，在规定的时间内不能完成规定的功能。因此它是一个随机事件，用 $P(T>t)$表示这一随机事件的概率，也就是设备在规定的使用时间 t 内的可靠度：$R(t)=P(T>t)$。

$R(t)$是时间的函数，可靠度随时间的延长而降低，根据概率性质，$R(t)_{max}=1$ 可看做设备 100%可靠，$R(t)_{min}=0$ 可以看做是完全不可靠了。所以有$0<R(t)<1$ 的性质，如图 2-7 所示。

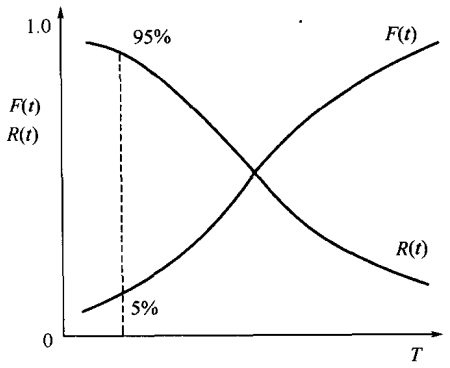


图 2-7　可靠度与不可靠度的关系

② 不可靠度 $F(t)$。将不可靠性，用概率表示，称不可靠度。

定义：设备在规定的条件下，在给定的使用时间内，出现故障的概率称为不可靠度，常用 $F(t)$来表示。

假如设备规定的使用时间为 t，该设备能够连续工作的时间为 T，当 $T<t$ 时，称设备在规定的时间内不能完成规定的功能，出了故障。这是一个事件，与前相同，这也是一个随机事件。$P(T<t)$表示其概率，所以 $F(t)=P(T<t)$，$F(t)$随时间的增大而增大且有 $0<F(t)<1$ 的性质，如图 2-7 所示。

③ 概率密度函数(故障密度函数)$f(t)$ 。故障密度函数就是不可靠度 $F(t)$对时间的微分，用 $f(t)$表示。

即

$$f(t)=\mathrm{d}F(t)/\mathrm{d}t \tag{2-9}$$

故障密度函数 $f(t)$表示故障随时间的变化规律，用来描述不可靠度瞬间变化的大小。

假如有 N 台同类设备，用它们做试验，设试验开始时间为 0，试验结束时为 t，当试验进行到 t 时刻，有 $N(t)$台设备出了故障，若 $N\to\infty$，那么就可用频率代替概率，则可知在 $0\sim t$ 内设备的不可靠度为

$$F(t)=Nf(t)/N \tag{2-10}$$

将式（2-10）代入式（2-9）得

$$f(t)=1/N\cdot \mathrm{d}Nf(t)/\mathrm{d}t\ (N\to\infty,\mathrm{d}t\to 0) \tag{2-11}$$

式中，$\mathrm{d}Nf(t)$为在 $\mathrm{d}t$ 时间间隔内，设备发生故障的台数。

故障密度函数 $f(t)$的定义就是：在给定的 $0\sim t$ 一段时间内，同种设备在单位时间内发生故障的台数(即 $\mathrm{d}Nf(t)/\mathrm{d}t$)与试验设备总数 N 之比)。

④ 故障率 $\lambda(t)$。用故障密度函数计算故障度随时间变化的规律有些缺点，那就是

$$f(t)=1/N\cdot \mathrm{d}Nf(t)/\mathrm{d}t$$

式中，N 是不变的。但是实际上随着故障的出现，无故障设备在不断减少，到了试验的后期，好的设备残存数已很少，在同样一段时间间隔，故障台数 $\mathrm{d}Nf(t)$也愈来愈少，最后趋于零。因此式(2-11)不能准确地反映设备的可靠性，所以，又引出了故障率 $\lambda(t)$的概念。

定义：设备在某一瞬时 t 的单位时间内，发生故障的概率，称瞬时故障率，也称故障率，用 $\lambda(t)$表示。故障率也是时间的函数

$$\lambda(t)=1/N(t)\cdot \mathrm{d}Nf(t)/\mathrm{d}t \tag{2-12}$$

式中，$N(t)$为 t 时刻没有出现故障的设备台数(残存数)。用某 t 时刻设备故障数($\mathrm{d}Nf(t)/\mathrm{d}t$)与该时刻残存设备数 $N(t)$之比描述故障变化情况或计算可靠度，更准确些。因为，首先在 $f(t)=1/N\cdot \mathrm{d}Nf(t)/\mathrm{d}t$ 与 $\lambda(t)=1/N(t)\cdot \mathrm{d}Nf(t)/\mathrm{d}t$ 两个表达式中，惟一的区别是 N 与 $N(t)$，N 是 $t=0$ 时设备总台数，$N(t)$是 t 时刻设备残存数，所以 $N>N(t)$，故 $\lambda(t)>f(t)$。那就是说 $\lambda(t)$反映的故障情况更加灵敏。其次，$f(t)$反映设备在所有工作时间内的故障情况，而 $\lambda(t)$反映某一时刻的故障情况。

(4) 可靠性函数之间的关系

① 可靠度与故障度之间的关系

$$R(t)+F(t)=1 \tag{2-13}$$

概率性质中指出，某事件发生的概率与其逆事件（互斥事件）发生的概率之和等于 1。

显然可靠度和故障度是两个互斥事件，因为设备出故障，就不可能完成功能，只有在设备正常状态下才能完成功能。

设备使用几年或几十年之后，$t\to\infty$，则 $R(\infty)\to 0$，设备老化、磨损、精度下降，可靠度大大降低。而 $F(\infty)\to 1$，经常出故障，所以故障度愈来愈大，最后百分之百不可靠。由式(2-13)得

$$R(t)=1-F(t) \tag{2-14}$$

$$F(t)=1-R(t) \tag{2-15}$$

② 故障度与故障密度函数的关系。故障度对时间的微分，称为故障密度函数，即

$$f(t)=\mathrm{d}F(t)/\mathrm{d}t$$

$$\mathrm{d}F(t)=f(t)\mathrm{d}t$$

$$F(t)=\int_0^t f(t)\mathrm{d}t \tag{2-16}$$

③ 可靠度与故障密度函数的关系。由式（2-14）知

$$R(t)=1-F(t)=1-\int_0^t f(t)\mathrm{d}t$$

$$R(t)=\int_0^{\infty} f(t)\mathrm{d}t \tag{2-17}$$

④ 瞬时故障率、故障密度函数与可靠度的关系。若某台设备在 $0\sim t$ 时间内的故障度为 $F(t)$，则在 $0\sim t$ 这段时间内 N 台设备的故障台数为 $N_f(t)$，未出故障的设备台数为

$$N-N_f(t)=N[1-F(t)]=NR(t)$$

若某台设备在 t 时刻，出现故障的可能性就是故障密度函数 $f(t)$，则 N 台设备在 t 时刻，出故障的台数为 $N_f(t)$，前面已讲瞬时故障率 $\lambda(t)$ 是在 t 时刻出故障数 $N_f(t)$ 与处于正常的设备数 $N_f(t)$ 之比，即

$$\lambda(t)=Nf(t)/NR(t)$$

$$\lambda(t)=f(t)/R(t) \tag{2-18}$$

(5) 概率密度函数及其分布

① 概率密度函数。前面我们介绍了可靠性工程中常用的四个基本函数，其中最关键的是概率密度函数 $f(t)$，在可靠性研究中，称为故障密度函数，它是可靠性计算的基础。下面通过一个例子，来阐述概率密度函数的概念。

例 1 对某造纸厂 100 个白炽灯炮，进行调查，获得使用中损坏情况的数据。

现知灯炮试验总数为 $N=100$ 个，每间隔 100h 统计一次，共试验统计 $i=10$ 次，所以共试验 1000h，即设 $\Delta t=100$h。

各时间间隔灯泡损坏数为 $\Delta N_f(t)$ 或 ΔN_{fi} 即 ΔN_{f1}，$\Delta N_{f2}\cdots$，ΔN_{f10}，则损坏情况见表 2-16。

表 2-16 灯泡损坏情况

①时间间隔 Δt/h	②100 个灯泡中损坏数/个	③$f_i(t)$经验故障密度函数
300～400	$\Delta N_{f4}=2$	$f_4(300\sim400)=0.0002$
400～500	$\Delta N_{f5}=9$	$f_5(400\sim500)=0.0009$
500～600	$\Delta N_{f6}=21$	$f_6(500\sim600)=0.0021$
600～700	$\Delta N_{f7}=40$	$f_7(600\sim700)=0.0040$
700～800	$\Delta N_{f8}=19$	$f_8(700\sim800)=0.0019$
800～900	$\Delta N_{f9}=8$	$f_9(800\sim900)=0.0008$
900～1000	$\Delta N_{f10}=1$	$f_{10}(900\sim1000)=0.0001$

a. 频数分布。根据表中第①②两项给出的不同时间间隔内灯泡损坏个数画出直方图，表示为灯泡损坏之频数关系，如图 2-8 所示。

b. 频率与概率分布。在灯泡损坏例子中，我们分 10 次统计灯泡损坏情况，每次时间间隔为 100h，称为“组距”（即 Δt），试验结果得出各次灯泡损坏的频率（即每次损坏的灯泡个数 ΔN_{fi} 与试验灯泡总数 N 之比 $\Delta N_{fi}/N$），不难得出

$$\text{频率/组距}=\left(\frac{\Delta N_{fi}}{N}\right)/\Delta t=\frac{\Delta N_{fi}}{N\Delta t}$$

因为损坏灯泡数随时间而变化，所以

$$\text{频率/组距}=\frac{\Delta N_{fi}}{N\Delta t}$$

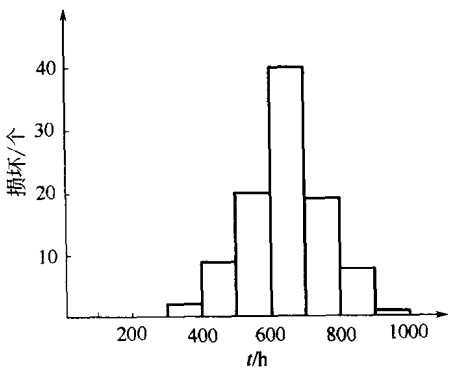


图 2-8 频数分布直方图

称 $fi(t)$为经验故障密度函数，上式用 $fi(t)$ 表示。

$$fi(t)=\frac{\Delta N_{fi}}{N\Delta t}$$

则

$$fi(t)=\Delta N_{fi}/N\Delta t(N\text{ 不够大，}\Delta t\text{ 不够小})$$

$fi(t)$=频率/组距，根据这两个公式算出不同的 $fi(t)$见表 2-16，以 $fi(t)$为纵坐标时间为横坐标，做出频率分布直方图如图 2-9 所示，直方图的特点，是利用小矩形的面积反映了频率，因为

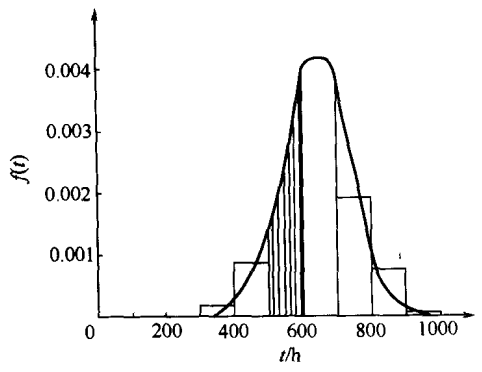


图 2-9　光滑的频数分布直方图

小矩形的面积=底×高=组距×频率/组距=频率

如果将时间区间 t(组距)缩小，即试验次数 i 增加，当 $\Delta t\to 0$，$N\to\infty$时，上述直方图不是阶梯形的，可连成一光滑曲线，这个曲线通常用 $f(t)$表示称为概率密度函数，如图 2-9 所示的光滑曲线，曲线下面与横坐标所包括的面积等于 1。这是概率分布的一个特点。概率密度函数是总体的频率分布，反映总体的变化规律。通过灯泡试验所作的图形反映了灯泡总的故障规律，近似于正态分布。从图上故障密度函随时间的变化情况可得到如下结论。

a. 在 0～1000h 的范围内，每个不同的时间间隔内(如 0～100h 内，100～200h 内……)灯泡单位时间损坏的数量 $\Delta N_f(t)/\Delta t$ 不同，即损坏频率不同，如在 300～400h 的间隔中，损坏频率为 0.02；800～900h 的间隔中，为 0.08。单位时间损坏量 $\Delta N_f(t)/\Delta t$ 与 N 的比值 $fi(t)$也不一样，如 300～400h 的间隔中为 0.0002。

b. 在本例中从 300h 开始出现灯泡损坏现象，直到 1000h 为止，反映了故障出现的时间范围。

故障出现频繁区在 500～800h 之间。并在 600～700h 之间，有故障高峰值。

② 故障密度函数的分布。故障密度函数的分布类型有许多种，在可靠性工程中常用的故障密度函数的分布有二项式分布、泊松分布，它们属于离散型分布；还有指数分布，正态分布和威布尔分布，它们属于连续型分布。

(6) 可靠性的分布　在可靠性研究中，正态分布和指数分布用得最多。因此我们对这两种分布作较详细的分析。

① 正态分布。上述造纸厂白炽灯泡的损坏规律，近似符合正态分布规律（见图 2-10）因此我们就可以用概率中的概率密度函数正态分布公式近似地计算 $f(t)$的值，从而进一步计算灯泡的可靠度和故障度。

正态分布时

$$f(t)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}e^{\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}} \qquad (2\text{-}19)$$

式中，e=2.7183；

t——某一时刻；

$f(t)$ ——在可靠性计算中为某时刻 t 的故障密度函数；

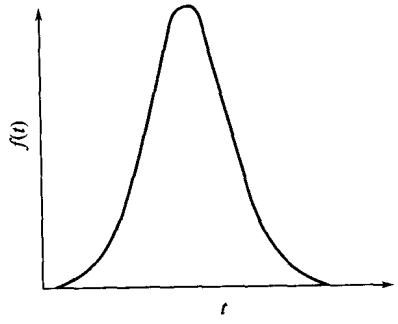


图 2-10　正态分布图

m——均值；

σ^2——方差；

σ——标准偏差。

在计算 $f(t)$过程中，e 为已知，当给出某一规定时间 t 时，还不能求得结果，必须知道参数 m 和 σ 才能计算出 $f(t)$。下面计算参量 m、σ^2 及 σ。

a. 均值的含义及计算。在可靠性研究中，均值的含义，指的是平均时间，我们结合灯泡损坏的例子，加以讨论。

在灯泡损坏例子中，灯泡寿命不一样，有的使用 300h 就坏了，有的使用 900h 还没坏，如果问某厂出品的灯泡质量如何？或说寿命如何？那么总不能用某一个或某几个灯泡使用多少时间来描述，总要有个宏观的概念。因此往往用平均的使用时间（寿命）来表示这批灯泡的质量，这就是概率中的数学期望（均值），在灯泡的例子中，均值 m 指的是平均时间。

其计算方法为

$$m=\frac{\sum \Delta t_i \Delta N_{fi}}{N} \tag{2-20}$$

式中 Δt_i——某一时刻；

$\sum$——总和；

ΔN_{fi}——某时刻的灯泡故障数；

N——试验灯泡总数 100 个。

ΔN_{fi} 和 Δt_i 的不同取值见表 2-17（取值方法为在每个时间间隔内取中值）。

表 2-17 时间间隔中值

时间/h	Δt_1	Δt_2	Δt_3	Δt_4	Δt_5	Δt_6	Δt_7	Δt_8	Δt_9	Δt_{10}
	50h	150	250	350	450	550	650	750	850	950
故障数	ΔN_{f1}	ΔN_{f2}	ΔN_{f3}	ΔN_{f4}	ΔN_{f5}	ΔN_{f6}	ΔN_{f7}	ΔN_{f8}	ΔN_{f9}	ΔN_{f10}
	0	0	0	2	9	21	40	19	8	1

由式（2-20）得知

$$\begin{aligned} m&=(\Delta t_1 \Delta N_{f1}+\Delta t_2 \Delta N_{f2}+\cdots+\Delta t_{10} \Delta N_{f10})/N \\ &=(50\times 0+150\times 0+250\times 0+350\times 2+450\times 9+550\times 21+ \\ &\quad 650\times 40+750\times 19+850\times 8+950\times 1)/100 \\ &=630\text{h}(\text{灯泡的平均寿命为 }643\text{h}) \end{aligned}$$

在讨论设备可靠性问题中，常使用平均无故障时间（MTBF，mean time between failures）这一指标。是指可修复系统（设备或产品）在相邻两次故障间中的，工作时间的均值，例如，某设备工作了 60h 后出了故障，经修复后又继续使用，工作 40h 后又出现了故障，又修复再工作 50h，又出故障，则在这段时间内设备故障三次，总工作时间为 150h，所以该设备 MTBF=(60+40+50)/3=50(h)。

因此，平均无故障工作时间的定义就是设备工作总时间与这段时间内故障次数之比，用式（2-21）表示为

$$\text{MTBF}=\frac{t}{N_f(t)} \tag{2-21}$$

式中 t——设备工作的总时间；

$N_i(t)$——设备在 0～t 时间内的故障次数。

MTBF 也是衡量设备可靠性的重要指标之一。

我们再回到造纸厂灯泡的例子中，643h，反映了这种类型的灯泡，无故障工作时间的集中趋势，也就是反映了产品的质量。

b. 方差（σ^2）的含义及计算。均值反映产品或设备在使用期内的宏观情况，但实际上，从微观上看，各个产品、设备损坏不可能一样，灯泡有的使用 300h 左右就坏了，有的则使用超过 800h 还好，这就是说，个别灯泡，相对于均值（643h）有偏差。因此还要研究灯泡寿命的离散程度，这就提出了 σ^2 的概念。

在数学中，方差有许多种求法，如极差法，标准偏差法等，下面我们仅仅介绍可靠性最常用的标准偏差法。

在数学中方差公式为 $$\sigma^2=\frac{\sum (x_i-x)^2}{n}$$

在可靠性研究中因多数情况研究可靠性与时间的关系，即自变量为时间 t。所以我们可以写成

$$\sigma^2=\frac{\sum (t_i-t)^2}{N}=\frac{\sum (t_i-m)^2}{N} \tag{2-22}$$

式中 t_i——不同时刻的时间值，如灯泡例子中的 350h、450h……等；

$m=t$——平均时间，如灯泡例子中的 643h；

N——试验灯泡总数，如例中的 100 个；

$\sum$——总和。

当试验数目 N 很大时，用式（2-22）。但当 N 不够大时，式（2-22）计算结果误差较大，一般多用下式

$$\sigma^2=\frac{1}{N-1}(\sum t_i^2-n\times m^2) \tag{2-23}$$

式（2-22）中 $(t_i-m)^2$ 与式（2-23）中 $(\sum t_i^2-n\times m^2)$ 相等，但后者便于计算，且不易出错。

在灯泡例子中利用式（2-18）可算得

$$\sigma^2=[2\times(350-643)^2+9\times(450-643)^2+21\times(550-643)^2+40\times(650-643)^2+19\times(750-643)^2+8\times(850-643)^2+1\times(950-643)^2]/100=13451(h^2)$$

由于用 h^2 作为表示时间的单位，很不方便，所以又提出用标准偏差 σ，表示偏差程度。本例中

$$\sigma=\sqrt{\sigma^2}=\sqrt{13451}=116h$$

116h 反映了这一批灯泡寿命的离散程度，也就是偏离 643h 的程度，离散度愈大，说明产品质量愈不稳定。

产品质量稳定程度，也是用户最关心的问题，因为产品质量不稳定，可能买一台、两台设备就会碰到质量较差的产品。

在上例中，$\sigma=116h$，可能另一厂的 $\sigma=90h$，或者还有一先进厂的 $\sigma=50h$，这表明偏离程度不同，当然 σ 愈小愈好，质量愈稳定。

例 2 甲、乙两个农业生产队粮食产量见表 2-18。

据两队三年的粮食产量，计算其标准偏差，比较两队生产水平。

表 2-18　产量标准偏差表

时　间		甲队/kg	乙队/kg	结　论
产量	第一年	1000	950	甲队平均产量偏高，偏离度小，稳产、高产 乙队，虽有一年高产，但总的看低于甲队，且不稳定
	第二年	1100	1200	
	第三年	986	800(均值)	
均值标准偏差		1029	＞983，甲比乙多 46	
		50.8	＜165，甲比乙少 114.2	

② 指数分布。此种故障密度函数分布符合指数规律，许多设备和元件的故障与时间函数曲线符合指数规律。指数分布有时也称负指数分布。

指数分布公式在可靠性中，表达式为

$$f(t)=\lambda e^{-\lambda t} \tag{2-24}$$

式中，λ 为故障率。

从前面的讨论中可知，λ 也为时间的函数，即表示为 $\lambda(t)$。但在指数分布时，在可靠性中，证明得知 λ 不随时间变化为一常数，定义为

$$\lambda=N_f(t)/t=\text{故障次数/总的运行时间} \tag{2-25}$$

将式（2-25）与式（2-17）对比，$\lambda=1/\text{MTBF}$(即$=1/m$)。在指数分布中，故障率是平均无故障时间(以 m 表示)的倒数，代入式(2-25)得

$$f(t)=\frac{1}{m}e^{-\frac{1}{m}} \tag{2-26}$$

在指数分布中 e 为常数，当知道参量 m(或 λ)后，给出一个时间 t，便可求得 $f(t)$，进而可根据可靠性函数关系进行可靠度计算等。

在可靠性理论中指数分布应用得最普遍，它只有一个参数 λ 或 MTBF 能够较简便地求出无故障工作概率或计算复杂系统的可靠度。故障率和平均无故障工作时间 MTBF 的概念，广泛用于电子设备可靠性的评价，也应用于许多机械设备可靠度的分析。

③ 威布尔分布。在可靠性研究中也常用到威布尔分布，例如链条、轴承的故障规律多属此种，在强度方面用得更多些。

这些分布比较复杂，是威布尔经过大量试验，推导出的半经验公式，其表达式为

$$f(t)=\frac{\beta(t-\gamma)^{\beta-1}}{\alpha}e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta}} \tag{2-27}$$

该分布不同于前面两种分布，而是由 α、β、γ 三个参数来描述。当知道 α、β、γ 三个参量后，给出一个时间 t，就可求得 $f(t)$，进而计算可靠度等。

当 $\alpha=1$，$\gamma=0$ 时；

若 $\beta=1$，则是一种特殊的威布尔分布，即指数分布；

若 $\beta=10/3$，则是另一种特殊的威布尔分布——接近正态分布。

由于篇幅所限，其他分布不再介绍。

到此，我们不仅了解了可靠性研究中的四个基本函数 $R(t)$、$F(t)$、和 $\lambda(t)$与可靠性函数间的关系，而且介绍了故障密度函数值 $f(t)$的几种常用分布。

可靠性工程在设备管理中的应用，最终目的就是利用这些分布预测设备故障，通过故障分布函数去计算设备无故障工作时间的概率。计算可靠度和故障度，参照生产实际进行维修，从而克服设备维修管理中的盲目性。

在可靠性工程的应用过程中，最关键的问题是故障分布属于哪种类型。如何确定设备或

零件故障分布的类型，大致有两种方法：一种方法是通过故障物理分析，证实故障类型和故障机理，判断故障属于哪种类型，也就是通过研究设备工作能力损耗和故障发展的规律。如在各种使用条件下材料性能和状态的变化规律，材料老化过程规律等，进而判断其故障类型；另一种方法对设备进行寿命试验，统计无故障工作时间，利用数理统计的方法判断设备故障属于哪种类型。这种方法便于在生产实践中研究设备故障规律，控制故障，搞好维修工作，并为设计部门提供可靠性设计的依据。这种方法将在后面章节中通过实例加以说明。

（7）故障率曲线（澡盆曲线）

① 故障率曲线的形成。在研究各种设备的故障规律时，通过对大量的实验数据和统计资料的分析，得知设备一生之中各阶段的故障率可形成一条曲线，这条曲线形似澡盆，故也称澡盆曲线。

澡盆曲线是如何作出的呢？让我们加以说明：根据上面介绍的几种函数及计算公式，可画出图 2-11 所示的故障率、故障密度函数和可靠度和时间关系的三组曲线，曲线组中：

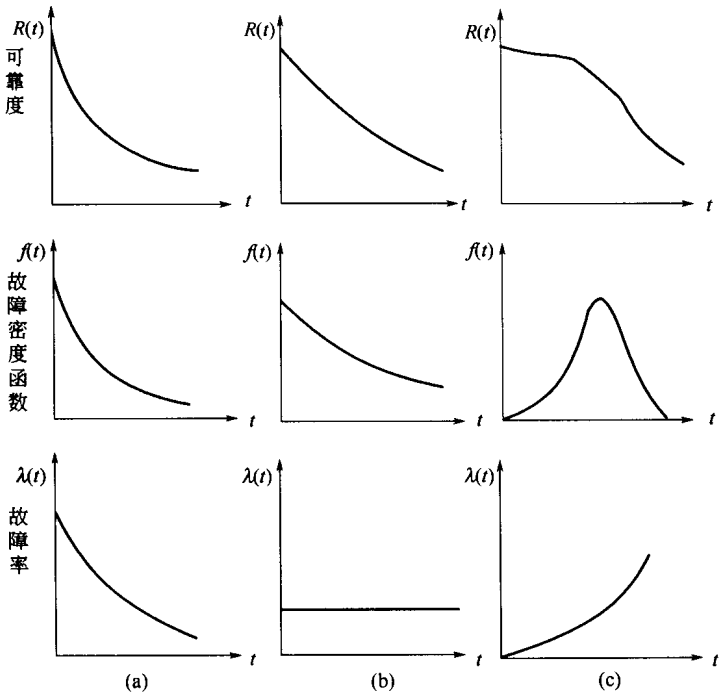


图 2-11　故障率的三种类型

（a）早期故障率；（b）恒定故障率；（c）磨损故障率

第一列为与三种不同分布相对应的可靠度曲线；

第二列为故障密度函数曲线，从上到下是三种分布即超指数分布、指数分布和正态分布，代表这三种不同故障的模式，对于一台设备来说，代表着使用过程的三个不同时间，早期故障期（即设备试运转期）、偶发故障期（即运转故障期）和耗损故障期（老化期）；

第三列为与三种不同分布相对应的瞬时故障率曲线，中间一个曲线因 $\lambda(t)=$常数，故为一水平直线。

把第三列三个曲线图组合起来，画在一个图上（见图 2-12），由于形似澡盆，故称“澡盆曲线”。

该曲线反映了一台设备在三个不同使用阶段的故障特征，之所以在不同阶段有不同的故障规律，主要是由于造成故障的原因不同。因此防止和克服故障的措施也各不相同。

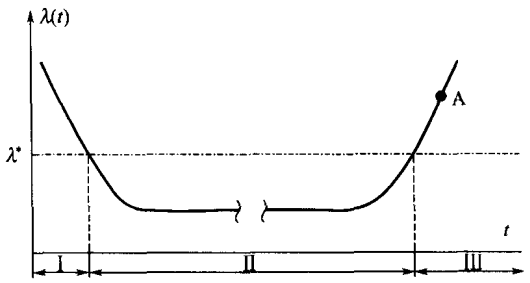


图 2-12　澡盆曲线

② 设备故障特征及其应用。如图 2-12 所示，其中

区间Ⅰ为早期故障期。就是设备投产初期的故障情况，这个时间的故障率是下降型的。

早期故障主要是由于设备的设计和制造的原因引起的，如设计不当、材料缺陷、零件制造、装配工艺过程把关不严、元件筛选不严、质量检验不认真等。

在此阶段，故障率开始时较高，如能迅速找出故障，排除装配差错，找出不合格零件等，设备的故障率可大大下降，对于大修后的设备，故障多为装配不当而引起，也属于这种类型。

对于此时期的故障，应采取试运转，进行磨合，严格检查和验收，将故障消除在正式投入使用之前，经过调试和试运转的设备，投入使用后故障基本趋于稳定。

区间Ⅱ为偶发故障期（也称随机故障期或运转故障期）。这一时期是设备的使用寿命期，故障率比较低，而且稳定。由于故障是由偶然的因素引起的，与时间无关，故称偶发故障期。它是由于使用不当，维修不良，早期缺陷未被发现，润滑、密封不好，以及操作失误等原因引起的，相应的采取措施，如严格操作规程，加强维护、保养、润滑工作，可以推迟和防止故障的出现。

区间Ⅲ为耗损故障期。这一时期是设备使用寿命的末期，故障随时间的增加而增加，造成故障的原因是疲劳、磨损、腐蚀和老化。防止故障的措施，对被腐蚀和磨损的零件来说可以提前换掉或通过可靠性预测，进行预防维修。

上述三个时期故障率分布不同，早期故障率属于超指数分布，使用期故障率属于指数分布，老化耗损期故障属于正态分布。因此，可根据已使用的时间判断不同的故障类型，并将之作为可靠性分析和定量计算的依据。

(8) 可靠性的应用

① 可靠度的计算。

例 3　抽 5 台造纸厂仪器进行寿命试验，该仪器故障模式符合正态分布。

已知设备台数 $n=5$ 台，各台仪器寿命为　$t_1=10.5\times10^3\text{h}$

$t_2=11.0\times10^3\text{h}$

$t_3=11.2\times10^3\text{h}$

$t_4=12.5\times10^3\text{h}$

$t_5=12.8\times10^3\text{h}$

求　仪器在 $t=12\times10^3\text{h}$ 时的可靠度

解

a. 按前文故障密度函数的正态分布，其故障表达式为

$$F(t)=\int_0^t f(t)\mathrm{d}t=\int_0^t \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\mathrm{e}^{\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}}\mathrm{d}t$$

因该式不易积分求解，故作如下代换，即

$$F(t)=\Phi\left(\frac{t-m}{\sigma}\right)$$

所以

$$R(t)=1-\Phi\left(\frac{t-m}{\sigma}\right) \tag{2-28}$$

在 σ 与 m 已知的情况下，$\Phi\left(\frac{t-m}{\sigma}\right)$ 是时间 t 的函数，具体计算时可给出时间 t，算出 $\left(\frac{t-m}{\sigma}\right)$ 的值（$\frac{t-m}{\sigma}$ 即附表 4 中 x 项）。根据此值，查附表求得 $\Phi\left(\frac{t-m}{\sigma}\right)$ 的值。此值就是在 t 时刻的故障度 $F(t)$，应用式（2-22）求得可靠度。本例中仪器故障符合正态分布，故可应用关系式 $R(t)=1-\Phi\left(\frac{t-m}{\sigma}\right)$ 求解。

b. 求均值 m 及标准偏差 σ。

$$\begin{aligned} m&=(t_1+t_2+t_3+t_4+t_5)/n\\ &=(10.5+11+11.2+12.5+12.8)/5\\ &=11.6(\text{h}) \end{aligned}$$

$\sigma^2=\frac{1}{n-1}(\sum t_i^2-n\times m^2)$，因 n 较小，即测试台数较小，故用此式较准确。

$$\sigma^2=\frac{1}{5-1}[(10.5^2+11.0^2+11.2^2+12.5^2+12.8^2)-5\times 11.6^2]=0.995$$

$$\sigma=\sqrt{0.995}=0.997$$

c. 求 12×10^3h 的可靠度。

由式(2-22)知 $R(t)=1-\Phi\left(\frac{t-m}{\sigma}\right)$

所以 $R(12)=1-\Phi\left(\frac{12-11.6}{0.997}\right)=1-\Phi(0.4)$

根据 0.4 数值，查附表 44（正态分布数值表），当 $x=0.4$ 时，

$$\Phi(0.4)=0.6554=F(12)$$

$$R(12)=1-0.6554=0.345$$

d. 结论。0.345 为该造纸厂仪器在 12×10^3h 时的可靠度，即一台仪器只有 0.345 的可靠性，对 100 台仪器来说，只有 34.5 台能工作到 12×10^3h。

例 4 一个造纸厂的设备，经 7000h 观察，出现 10 次故障，设备故障符合指数分布，问在 1000h 和 500h 的可靠度和不可靠度。

解

a. 求平均无故障工作时间（均值）。

$$m=\frac{7000}{10}=700\text{h}\left(\text{或}\ \lambda=\frac{1}{700}\right)$$

b. 在指数分布时 $f(t)=\lambda e^{-\lambda t}$

则

$$F(t)=\int_0^t \lambda e^{-\lambda t}\,dt$$

$$R(t)=1-\int_0^t \lambda e^{-\lambda t}\,dt$$

根据定积分公式

$$\int_0^t e^{ax}\,dx=\frac{e^{ax}}{a}\Big|_0^t$$

有

$$R(t)=1-\left[\lambda\frac{e(-\lambda t)}{(-\lambda)}\Big|_0^t\right]=1-[-e^{(-\lambda t)}-(-e^{(-\lambda\times 0)})]$$

$$=1-(-e^{-\lambda t}+1)=1+e^{\lambda t}-1$$

$$R(t)=e^{-\lambda t}$$

或

$$R(t)=\frac{e^{-t}}{m} \tag{2-29}$$

当 $t=1000$h，$R(1000)=e^{-\frac{1000}{700}}=e^{-1.429}=0.239\approx 0.24$

当 $t=500$h，$R(500)=e^{-\frac{500}{700}}=e^{-0.701}=0.496\approx 0.50$

c. $F(1000)=1-R(1000)=76.1\%$

$$F(500)=1-R(500)=50\%$$

d. 结论。该设备在1000h时，可靠度只有23.9%，也可说100台设备，约有24台可工作到1000h。

设备在500h时，可靠度为49.6%，即100台设备中，约有50台可工作到500h。时间越长，可靠性越低。使用时间越短，可靠性越高，如

当 $t=240$h，$R(240)=e^{-\frac{240}{700}}=0.7079=71\%$

当 $t=0.5$h，$R(0.5)=e^{-\frac{0.5}{700}}=0.999=99.9\%$

通过上面简单的例子可以看出，不论是造纸厂的电子元件、仪器还是机械设备，当知道它在某段时间的故障规律时，就可进行定量的可靠度计算，预测可靠性和故障的发生。

② 可靠性工程在设备故障与维修管理中的应用。利用可靠性的计算，可对设备修理周期进行预测，现举例说明如下。

例5 某造纸机械厂有55台机床，在6个月的统计中，有25台出了故障，见表2-19（停机1h以上算故障），若机床故障属于指数分布类型，试求其修理周期。

解 因故障符合指数规律，故可利用式（2-23）$R(t)=e^{-\frac{t}{m}}$求得可靠度，此式中的 m 为均值，在求 $R(t)$前必须求得 m 值（见表2-20）。

表2-19 机床故障情况/台

普通机床	总台数	各月份的故障台数						总故障台数
		1月	2月	3月	4月	5月	6月	
专用车床	13	2	2	2	2	2	1	11
专用铣床	12	0	1	2	0	1	1	5
专用刨床	6	1	2	1	0	1	1	6
专用磨床	24	1	0	2	0	0	0	3
合计	55	4	5	7	2	4	3	25

表2-20 机床检查周期及可靠度

设备类别	均值 m/月	维修(检查)周期 T_m/月	可靠度	设备类别	均值 m/月	维修(检查)周期 T_m/月	可靠度
专用车床	3.9	4	$R(4)=0.3358$	专用刨床	43.8	$M/2=22$	$R(22)=0.60$
专用铣床	11.7	12	$R(12)=0.358$	机床(综合)	9.94	10	$R(10)=0.366$
专用磨床	2.7	3	$R(3)=0.38$				

此例与灯泡损坏不一样，灯泡例中，100 个灯泡在 1000h 的试验中，全部损坏。在此例中，55 台设备，只有 25 台出故障，并未全部损坏（还有 30 台设备使用到 6 个月），这时的均值采用如下公式

$$m=\frac{\sum t_i\gamma_i+(n-R_i)t_0}{R_i} \tag{2-30}$$

式中 t_i——每台机器的损坏时间，如 1 月，2 月……，为了便于计算，取各月的中间为损坏时间，如 0.5 月，1.5 月……5.5 月等；

R_i——各种不同机床在 6 个月中的故障总台数，$R_i=\sum_{i=1}^{6} r_i$；

γ_i——时间为 t_i 时，发生故障的台数。如 2.5 个月时，车床 2 台，刨床故障 1 台；

n——设备总台数；

t_0——统计的时间，在此为 6 个月。

将表 2-19 中各数据分别代入式（2-24）中，求得各类机床平均无故障工作时间。

$m_{总}=[0.5\times4+1.5\times5+2.5\times7+3.5\times2+4.5\times4+5.5\times3+(55-25)\times6]/25$
$=9.94\approx10$(月)

$m_{车}=[0.5\times2+1.5\times2+2.5\times7+3.5\times2+4.5\times2+5.5\times1+(13-11)\times6]/11$
$=3.9\approx4$(月)

$m_{铣}=[0.5\times0+1.5\times1+2.5\times2+3.5\times0+4.5\times1+5.5\times1+(12-5)\times6]/5$
$=11.7\approx12$(月)

$m_{刨}=[0.5\times1+1.5\times2+2.5\times1+3.5\times0+4.5\times1+5.5\times1+(6-6)\times6]/6$
$=2.7\approx3$(月)

$m_{磨}=[0.5\times1+1.5\times0+2.5\times2+3.5\times0+4.5\times0+5.5\times0+(24-3)\times6]/3$
$=43.8\approx44$(月)

若设 T_m 为维修检查期

对于所有各类机床设维修检查期为 $T_{m总}$

若取 $T_{m总}=10$(月)

则 $R_{总}(10)=e^{-\frac{10}{9.94}}=0.366=36.6\%$

这就是说，从各类机床总体来看，平均无故障工作时间为 9.94 个月，若在接近 9.94 个月时（10 个月时）进行检修，那么这个时候的机床可靠度只有 36.6%。

对于车床，$T_{m车}$，若取检修期 $T_{m车}=4$(月)

则 $R_{车}(4)=e^{-\frac{4}{3.9}}=0.358=35.8\%$

若取检修期 $T_{m铣}=12$(月)

则 $R_{铣}(12)=e^{-\frac{12}{11.7}}=0.358=35.8\%$

对于刨床，$T_{m刨}$，若取检修期 $T_{m刨}=3$(月)

则 $R_{刨}(3)=e^{-\frac{3}{2.7}}=0.33=33\%$

对于磨床，$T_{m磨}$，若取检修期 $T_{m磨}=22$(月)(平均无故障工作时间的 1/2)

则 $R_{磨}(22)=e^{-\frac{22}{43.8}}=0.60=60\%$

结论。对于专用机床若取接近平均无故障工作时间为修理周期，此时的可靠度大多在 35%左右，绝大多数机床应检修。如果任务很重，各专用机床的负载都很大，那么就应该将

检修期缩短，如10个月缩到7个月甚至5个月，否则设备会经常出故障，而影响生产。根据实情，如果生产任务不饱满，机床利用率不高，那么，检修期间也可以延长。

对于贵重些的设备，如专用磨床、非标准设备、关键设备，按照平均无故障工作时间的一半，如专用磨床取43.8/2＝22个月作为检修期，此时的可靠度达60%，如果有些大、精、专门设备或完成任务的关键设备不允许出故障，那么检修期还要缩短，以保证可靠地完成任务。

例6 已知某草纸厂单元的可靠度是依从指数分布，求出以下各值。

① 设在工作时间10^3h，要保证可靠度$R(t)=0.99$，问单元的λ和MTBF应为多少？

② 在t=MTBF的时刻，$R(t)$是多少？

③ $R(t)=0.9$的时间t，是MTBF的几分之一？

解 ① 在可靠度高的情况下（这里为0.99）

$$R(t)=e^{-\lambda t}=0.99$$

$$\lambda t=0.01$$

将工作时间$t=10^3$h代入式中

$$\lambda\times10^3=0.01$$

$$\lambda=10^{-5}(h^{-1})$$

由式MTBF$=1/\lambda$可知

$$MTBF=10^5(h)$$

② $R(t)=e^{-\lambda t}=e^{-\lambda\cdot MTBF}=e^{-1}=0.368$

③ $R(t)=e^{-\lambda t}=0.9$

$$\lambda t=0.105$$

$$t=0.105/\lambda=0.105\times MTBF$$

即t为MTBF约1/10的时刻，$R=0.9$。

2.3.3 维修性原理

（1）可维修度

① 定义。在给定的时间内，需维修的设备能够恢复到规定工作状态的概率。这种概率表示的可维修性（maintainability）称为可维修度，用$M(t)$表示。

② 可维修度$M(t)$与可靠度$R(t)$之异同。$M(t)$是概率，自变量是t，$M(t)$也是一个随机变量。故障不同，维修时间也不同，时间的变化与可靠度相似，也遵循着某种分布规律——如正态分布、指数分布、对数正态分布等（见图2-13）。

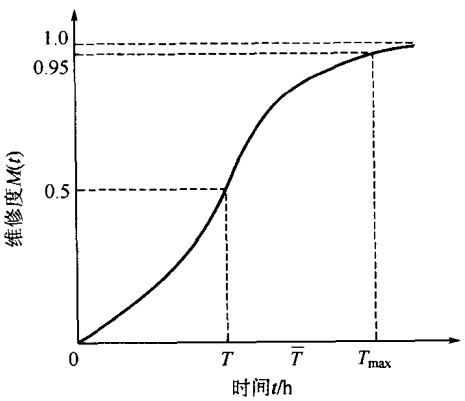


图2-13 可维修度与时间的对应关系

T——一般维修时间；$\overline{T}$—平均维修时间；T_{max}—最大维修时间

但$M(t)$与$R(t)$的不同是：

a. 可维修度$M(t)$中自变量总是时间t，可靠度$R(t)$中自变量可以是时间程、循环次数或试验成功数等；

b. 可维修度$M(t)$是一个事件（完成维修）在规定时间内出现的概率，如从故障的角度出发，可靠度$R(t)$是一个事件（故障）在规定时间内，不出故障的概率；

c. 完成维修的时间事先可以提出，而故障发生时间无法规定，只能设法控制、拖延。

(2)可维修性函数　其参数如下。

$M(t)$　可维修度，以概率表示的可维修性

$M'(t)$　不可维修度，以概率表示的不可维修性，$M'(t)=1-M(t)$

$m(t)$　维修密度函数，有多种分布，$m(t)=\mathrm{d}M(t)/\mathrm{d}t$

$\mu(t)$　修复率，即一个维修系统，在 t 时刻后能修复的概率

$$\mu(t)=\frac{m(t)}{1-M(t)}$$

(3) 维修时间　在可维修性研究中，维修时间是极其重要的研究参数。

时间分为：使用时间（不等于工作时间）；停歇时间（不等于停机时间）。维修中主要研究停机时间，包括维修时间、等待时间。其中等待时间包括故障检查、故障报告、缺陷查找、查找备件、试验等。

维修时间

MDT—平均停机时间（mean down time）

MWT—平均等待时间（mean wait time）

MTTR—平均修复时间（mean time to repair）

$$\text{平均修复时间}=\frac{\text{各次修理时间的总和}}{\text{修理次数}}$$

上述这些时间是很重要的，它们是研究可维修性的基础，也是改善维修管理的基础。

(4) 指数分布时的维修度　指数分布（见图 2-14）时可维修度表达式为

$$M(t)=1-\mathrm{e}^{-\frac{t}{\mathrm{MTTR}}}=1-\mathrm{e}^{-\mu t} \tag{2-31}$$

$$\mu=\frac{1}{\mathrm{MTTR}}$$

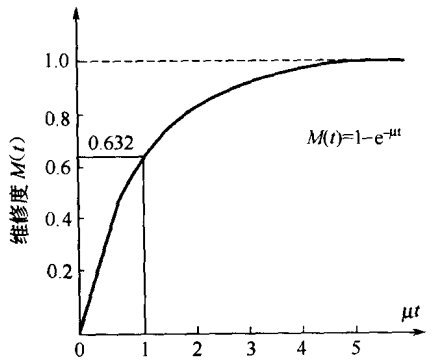


图 2-14　维修度函数呈指数分布

例 7　维修时间按指数分布，$M(t)=1-\mathrm{e}^{-\frac{1}{\mathrm{MTTR}}}$，已知 $M_{\max}=1\mathrm{h}$，MTTR（平均故障修复时间）$=20\mathrm{min}$。

求　可维修度 $M(t)$

解　$$M(t)=1-\mathrm{e}^{-\frac{M_{\max}}{\mathrm{MTTR}}}=1-\mathrm{e}^{-\frac{60}{26}}$$

$$=1-0.09949\approx 0.9=90\%$$

当平均修复时间为 20min 时维修度达 90%，最大维修时间为 1h。

定量计算可维修度的目的：根据使用单位反馈数据，经过分析，提出定量的可维修性设计要求，为改进产品设计（可维修性设计）提供依据；作为维修计划和维修工作预测的依据；作为试验和鉴定设备维修性能的依据。

2.3.4　可靠性维修性设计

2.3.4.1　设备的固有可靠性维修性与使用可靠性维修性

日本工程师协会秘书长中岛清一提出了设备医学观点，他认为设备的可靠性维修性可分为固有的（即先天的）和使用中的（即后天的）可靠性维修性。设备在设计、制造过程中获得的可靠性维修性称为设备的固有可靠性维修性（先天具有的可靠性维修性）；设备在使用过程中由于操作和维修而获得的可靠性维修性称为使用可靠性维修性（后天获得的可靠性维修性）。

在设备一生的可靠性维修性中，固有可靠性维修性是具有决定意义的。也就是说，设备的固有可靠性维修性高，在使用中也易于获得高的可靠性维修性，若设备的固有可靠性维修性差，即使在使用和维修中做出很大努力也很难获得高的可靠性维修性。另一方面，对于已具有较高的固有可靠性维修性的设备，还必须在使用中注意操作和维修的技术和质量，即力争有高的使用可靠性维修性，才能使设备获得较高的总体可靠性维修性。

提高制浆造纸设备的总体可靠性维修性必须从提高设备的固有可靠性维修性和使用可靠性维修性着手。提高设备固有可靠性维修性应从设备的开发研究、设计、制造、试验改进、使用信息反馈、技术改造及基建时的设备选型等环节着手；而提高设备的使用可靠性维修性又应从设备的使用环境、操作技术、维护保养、故障监测、维修技术、备品备件、使用信息的收集与反馈等环节着手。

2.3.4.2 设备的平均有效度

在追求设备的总体可靠性维修性的同时，企业也要求得到较好的经济效益。因此，对于一般企业的生产设备，都不可能不计成本费用来追求设备的可靠性维修性。一般设备在设计时应考虑在一定的寿命周期费用的前提下去争取设备最高的可靠性和维修性。

设备可靠性和维修性的综合指标是设备的有效度（availability），也称为设备可利用率，它表示设备在特定的时刻能维持其所需功能的概率。通常我们并不注意设备有效度的某个瞬间值，而注重设备在长时间使用中的平均有效度。即

设备平均有效度 A＝可工作时间(MTBF)/[MTBF＋不可工作时间(MTTR)]

式中，MTBF（mean time between failure）为设备的平均无故障工作时间或平均故障间隔期，表示可修复设备从这次故障修复后到下一次故障发生时的时间间隔。

MTTR（mean time to repair）为平均故障修复时间，表示可修复设备发生故障后的事后维修时间。

由此式可知，要使设备有较高的有效度 A，一是要延长设备的无故障工作时间（MTBF）也就是要提高设备的可靠性；二是要缩短设备的故障修复时间（MTTR），也就是要求设备有良好的维修性，一旦有了故障可很快修复。

2.3.4.3 设备的可靠性设计

构成系统的基本单元是机械零件和电子元器件等。系统的可靠性则取决于这些零件和元器件的可靠性及系统的可靠性设计。

（1）可靠性设计的一般程序　包括确定零部件的可靠性指标；按分配给零件的可靠性指标进行零件的可靠性设计；对产品进行质量（包括可靠性）控制和可靠性试验。

由于制造的原因往往产品的可靠性指标达不到设计的要求，为此，要求在生产过程中进行质量控制，并且通过可靠性试验来判断是否符合可靠性设计要求。

前述造纸厂灯泡例子中，m＝643h，平均寿命 643h 这个数值不算高，σ＝116h，说明灯泡质量离散度不小，由此计算出的可靠度也较低，假如企业为了给消费者提供更高质量的产品（灯泡），同时在企业之间的竞争中取胜，那么就要进行可靠性设计，从根本上提高质量。

首先，提出可靠性指标，即提高 $R(t)$和 m，降低 σ 的指标，如 m 由 643h 提高到 800h，σ 由 116h 降低到 100h 等。

其次，分析各个灯泡损坏的原因。如灯丝耐高温性、灯口密封技术及其他因素等。

最后，制定改进措施，进行一系列可靠性设计工作。

（2）系统的可靠度

① 串联系统的可靠度。对于一个系统，如果只要有一个元件发生故障就导致整个系统发生故障，这种系统称串联系统。设串联系统共有 n 个元件，串联后，如图 2-15 所示。

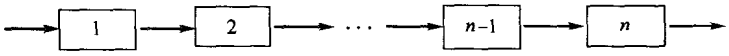


图 2-15　串联系统

串联系统的可靠度等于系统诸元件可靠度函数的乘积

即　　$$R_s(t)=R_1(t)R_2(t)\cdots R_n(t)$$

例 8　$R_1=0.9$，$R_2=0.93$，$R_3=0.78$

解　　$$R_s=0.9\times0.93\times0.78=0.65$$

即整个串联系统的可靠度低于系统中任一元件的可靠度。

当　　$$R_1(t)=R_2(t)\cdots=R_n(t)\text{时，}$$

则　　$$R_s(t)=[R(t)]^n$$

在造纸厂电子设备中，各单元参数是单一的，参数变化只影响自身工作能力，单元故障可视为独立事件，恢复其工作能力，只通过更换失效元件即可。

在串联系统中，一个元件故障将导致整个系统的故障。

② 并联系统的可靠度。串联系统的可靠度较低，为了提高系统的可靠性，常采用冗余技术或贮备的办法，即增加一个备件，若设并联系统有 n 个元件，如图 2-16 所示。

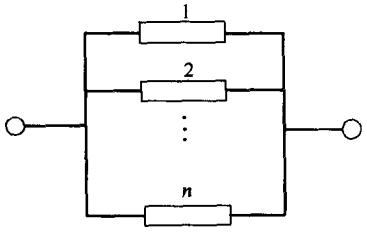


图 2-16　并联系统

系统中只要有一个元件没有发生故障，则整个系统仍能正常工作，其可靠度计算为

$$R_s(t)=1-[1-R_1(t)]\cdot[1-R_2(t)]\cdots[1-R_n(t)]$$

例 9　$R_1=0.9$，$R_2=0.93$，$R_3=0.78$

解　　$$R_s=1-(1-0.9)\times(1-0.93)\times(1-0.78)=0.998$$

这说明并联系统中，系统的可靠度比任意一个组成元件的可靠度都高。

(3) 可靠性设计的内容

① 应力设计。

环境应力　即不同温度、湿度、化学气体、放射能下的应力。

使用应力　即由振动、冲击、电压、电流、频率、自身发热造成的应力。

② 余量选择。指零部件规格选用要留有余量。

③ 减额使用。如电子系统元器件，使它们在低于额定载荷条件下工作。

④ 冗余性。所谓冗余性是指两种手段完成同一功能。如自行车的前后刹车，造纸厂的并联旋翼筛、抽浆泵等全有应急系统。

⑤ 可靠度分配。对串联系统进行可靠度分配，如一个部件（机构）要求 95%的可靠度，其两个组成零件，必须有 97%、98%的可靠度指标，才能实现部件 95%的可靠性要求 ($0.95=0.98\times0.97$)。

对系统中的薄弱环节要进行分析，计算其可靠度。当不能满足整个系统要求时，要提高其可靠性要求，并在设计中给以保证。

例 10　造纸厂三台设备串联系统，它们的故障率分别服从指数分布，经若干次统计得

知泵 A 的平均寿命 $m_A=3500h$，泵 C 的平均寿命 $m_C=4000h$，而蒸煮锅 B 的平均寿命 $m_B=1000h$，今要求需要连续生产 14 天（336h），试求各设备的可靠度。

解

$$R(t)=e^{-\frac{t}{m}}$$

$$R_A(336)=e^{-\frac{336}{3500}}=91\%$$

$$R_B(336)=e^{-\frac{336}{1000}}=71.5\%$$

$$R_C(336)=e^{-\frac{336}{4000}}=92\%$$

$$R_s(336)=R_AR_BR_C=0.91\times0.715\times0.92=0.60=60\%$$

由上计算知系统可靠度 R_s 太低，主要是 R_B 太低所致，为了保证生产，若将系统可靠度由 60%提高到 80%。

则

$$R_B=\frac{R_s}{R_AR_C}=\frac{0.80}{0.91\times0.92}\approx96\%$$

即蒸煮锅可靠度，必须提高到 96%才能保证系统获得 80%的可靠度。

⑥ 结合部分的可靠度。螺栓紧固、铆接、焊接、插座、电线连接等连接要可靠。

⑦ 安全系数。安全阀、卸荷装置（锅炉……）、防护装置（冲击保护装置）等都必须在设计时考虑。

⑧ 人机因素。操作方便，误操作保护（停机）等。

⑨ 维修性。易接近性、互换性，备有测量装置。

⑩ 经济性。寿命周期费用较小，效率较高。

2.3.4.4 设备的可维修性设计

可维修性设计的最终目的是使设备具有好的维修性，以便最大限度地节省维修时间，进而提高设备利用率降低成本。

可以从以下几方面着手进行可维修性设计。

① 易接近性。

结构开敞　易于接近需维修部位；

开观测孔　操作窗口，如烘缸、蒸球、浆池等均有许多维修检查口盖。

② 易拆装性。如电机的皮带轮难拆，应采用滑销可卸连接，用快卸装置。

③ 尽量采用互换性标准件，备件拿来即可换上。

④ 装配性，应易于装配，尺寸合理，间隙适当，零件结构易于各件组合。

⑤ 采用新工艺。如减少机床导轨接触面，采用小面积接触的镶条，待磨损后易于修理且减少钳工刮研工作量；采用滚动轴承，摩擦力小，磨损小；采用新技术如刷镀等。

⑥ 经改进润滑。例如，有一台加工造纸机底轨的专用设备。加工精度达不到要求，两丝杆温度升高不一样。经检查，才知道问题在于机械润滑不好，弧形件内存不住润滑液而发生干摩擦，最后采用 MoS_2 粉剂解决了这一关键问题，由此可见，油液是机构的血液，花很少的投资和力量，能得到很好的效果。

⑦ 专用设备难于修理或结构特殊之处，应事先设计好专用修理工具。可维修性设计，只能解决维修时间减少问题，而不能影响设备维修过程中的等待时间，等待时间的减少，必须着眼于维修管理的科学化、现代化，以及管理人员素质的提高。

2.3.5 设备的可靠性试验

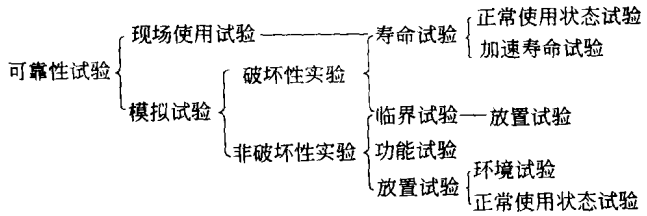
所谓可靠性试验，是指为评价、分析产品的可靠性而进行的试验的总称。可靠性试验的目的是评价产品的可靠性水平，即通过规定的试验方法进行可靠性试验，并对获得的试验数

据进行统计分析，从而得出该产品的可靠性指标，为产品的研制、设计和使用提供依据。同时，还可以通过试验对失效产品进行分析，找出其失效原因，采取相应的改进措施，达到提高产品可靠性的目的。

2.3.5.1 可靠性试验分类

根据试验应力大小、特征值、程序和目的要求不同，可靠性试验的种类是多种多样的。可靠性试验可分为现场使用试验和模拟试验两大类，见表 2-21。

表 2-21 可靠性试验的分类



现场使用试验是最符合实际情况的试验。当样机研制出来后，应送现场（典型的或有代表性的）进行实际的运行考验。只有当它们基本满足使用要求之后，才能正式成批生产。现场使用试验应该作为整机研制过程中的一个不可缺少的环节。长期的现场使用试验最好由使用部门协助进行，并填写设计制造部门统一编制的履历表、使用报告及故障报告表。这种试验是现场使用数据收集的主要来源。

模拟试验是将产品在工厂或实验室模拟实际工作状态进行试验。模拟试验可分为破坏性和非破坏性两种。非破坏性试验多用于较贵重的设备或系统的可靠性评价。它是当前可靠性试验研究的一个课题。对于不太贵重的产品，多采用破坏性试验的方法。它又分为寿命试验和临界试验两种。破坏性寿命试验主要是在规定的条件下投入一定数量的样品（抽样）进行寿命试验。然后，分别记录它们的失效时间，并利用这些数据来分析产品的失效分布和各项可靠性指标。

临界试验用来评定产品承受工作应力和环境应力影响的极限能力。

根据施加在产品上的负荷和环境劣化强度的不同，可以分为正常使用状态试验和加速寿命试验。

根据负荷和环境应力随时间的关系，又可分为恒定试验和变动负荷试验，以及无负荷状态下的试验。按照试验的目的，可分为筛选试验、鉴定验收试验、专门试验。

2.3.5.2 环境试验

产品在贮存、运输和使用过程中，经常受到周围环境有害因素的影响，有的影响产品工作性能，有的影响产品的使用可靠性和寿命。

评价、分析环境对产品性能影响的试验，称为环境试验。

（1）环境条件及其对产品的影响 环境大致可分为工业环境、自然环境、人为环境和特殊使用环境四大类。其中环境条件对产品的影响简述如下：高温条件下，材料软化使结构强度减弱，化学分解和老化使电气化元件性能变坏，甚至损坏；设备过热使焊点脱开，焊锡缝开裂；润滑油黏度降低使轴承和高负荷的摩擦件损坏；金属膨胀不均使活动部分被卡住；紧固件出现松动，接触装置出现接触不良，金属氧化加快使接点接触电阻增大，金属材料表面电阻增大。

低温条件下，材料变脆使结构强度减弱，橡胶发脆，润滑油和润滑脂黏度增大使轴承及开关等产生“黏滞”现象；材料收缩使活动件被卡死，接触件接触不良；低温使电子元件性能改变；密封橡胶硬化使气密设备的泄漏率增大。

高低温循环变化，剧烈的膨胀与收缩产生内应力，交替的冷凝、冻结和热烤使材料损伤，加速电子元件的电性能的改变。

高湿条件下，使元件材料表面电阻和体积电阻下降，发生漏电、短路、击穿及接触不良；金属材料加速腐蚀，一般金属的临界腐蚀湿度是：铁为70%～75%，锌为66%，铝为60%～65%。当湿度超过了金属的临界腐蚀湿度时，其腐蚀速度将成倍增加；某些化学材料发生熔解或化学变化；若湿热交替变化将产生材料毛细管的“呼吸”作用，这会加速材料的吸潮和腐蚀过程及绝缘材料的老化；高湿还能使霉菌孢子发芽生长，在相对湿度为85%～90%，温度为25～30℃时，霉菌旺盛繁殖，破坏了产品的外观和标志等。

高气压条件下，增加了气密设备的内外压力差，易造成结构的损坏和泄漏。

低气压条件下，空气抗电强度降低，使电子设备产生飞弧、电晕等现象；空气介电常数减小，使元件电参数发生变化；气密设备中应力增大，使密封外壳变形、焊缝开裂、结构损坏及泄漏；低气压使用散热困难，导致设备内温度升高。

盐雾条件下，海洋的激浪冲击岩岸时，使飞溅的水沫成为雾状而进入空气，这种在空气中悬浮的氯化物液体微粒称为盐雾。根据沿海地区的地形、地貌及风力不同，盐雾可随风深入到离沿海30～50km处。

盐雾对产品的影响与周围环境中的空气湿度有密切的关系。干的盐粒对产品的影响极微，而盐粒被溶解于水中呈离子状态时，才具有导电性和腐蚀作用。所以，盐雾对金属及金属镀层的腐蚀主要是氯离子的作用，因氯离子的直径较小，易穿透和破坏保护膜。同时，氯离子具有亲水性，易于被受潮的金属表面所吸附，破坏金属表面镀层的钝化膜而导致金属腐蚀。盐雾也腐蚀绝缘材料，使表面电阻和抗电强度降低，降低了绝缘性能。

大气污染条件下，加速金属件的腐蚀；使某些塑料件膨胀和变形。

沙尘条件下，易使轴承和摩擦件、开关、电位器及继电器等损坏或电接触不良，静电荷增大而产生电噪声；由于灰尘吸附水分而降低元件和材料的绝缘性能，加速金属件的腐蚀和有利于霉菌的生长。

大风雪条件下，对于室外构件（如天线）增加了负荷，易损坏。

机械振动条件下，产品不仅会受到外界环境对它不同程度的振动影响，而且本身在工作过程中也会产生振动。一般造纸机振动的最大加速度小于59m/s^2，振动频率范围在1～1000Hz；双盘磨在运行时，振动加速度达到109m/s^2左右，振动频率范围在10～500Hz。

机械冲击条件下，产品在运输、碰撞、跌落等情况下，会遇到各种程度不同的机械冲击。例如在造纸厂铁路和公路运输中，通常可能遇到的冲击加速度为7～10m/s^2；造纸机事故停车时最大冲击加速度为25～30m/s^2；冲击使电子设备引起突然失效，元器件、组件从整机上脱落等。

太阳辐射条件下，造成造纸厂设备过热及光化效应，便有机材料加速老化和分解；涂料退色和剥落；软橡胶变硬开裂，拉伸强度降低；电子元件易损坏等。

电的条件下，包括电场、磁场、闪电、雷击、电晕及放电等现象发生的场合下，在造纸厂电子设备内部和外部都会产生电磁波。除电子设备所要接收的信息外，其余的外部电磁波属于电磁干扰或称外部干扰。电子设备内部，电磁能量除通过正常途径传输外，还存在着通

过不正常途径的传输，或称内部干扰。电子设备受干扰后，会使输出噪声增大，工作不稳定，甚至完全不能工作。

(2) 环境试验方法的分类和一般程序

① 环境试验方法分类。现场使用试验；自然暴露试验；人工模拟试验。

② 环境试验的一般程序

a. 样品选择。供环境试验用的样品的基本性能必须符合该产品的技术要求，并应具备所需的有关原始资料（如选用的材料及工艺资料等），以便能正确分析试验结果。环境试验一般只需要 2～3 件样品。

b. 环境条件的确定。不是所有的环境条件都需要模拟试验，因为有的环境条件对某些产品的性能和可靠性的影响可以忽略不计。所以，每种环境试验所选择的考核项目（环境因素和等级）应根据被试样品的使用特点及对它起主要影响的环境因素来确定。

产品基本环境技术要求等级和试验方法都有标准可遵循。

c. 预处理。是为消除样品在试验前因运输、贮存过程中受到种种环境因素作用而对试验样品特性参数的影响而进行的处理。它是在进行试验之前，将样品在某一规定的环境条件下（一般为正常的大气条件）中放置一定的时间。

d. 初始检测。经预处理后，在试验前对样品进行的外观检查及电气和机械性能的测试。

e. 试验。把样品放在规定的试验条件下按有关技术规范提出的试验程序做各项环境试验。

f. 中间检测。在试验过程中对样品进行的外观检查及电气和机械性能的测试。

g. 恢复处理。为使样品在环境试验后，进行最后检测前的性能得到稳定而进行的处理。一般在正常大气条件下恢复 1～2h。

h. 最后检测。按有关技术规定，在试验结束后对样品进行外观检查及电气和机械性能的测试。

2.3.5.3 *加速寿命试验*

为了加快寿命试验的进程，节省时间，减少人力和物资的消耗，目前广泛采用加速寿命试验的方法。对于那些寿命特别长的零部件来说，尤为重要。

所谓加速寿命试验的方法就是用增大应力的办法促使样品失效时间缩短，以便在短时间内根据加速寿命试验所得的数据来预测出正常条件下的寿命特征。

加速寿命试验的方法最早用在金属材料和机械零件的疲劳试验方面，而后被逐渐应用到其他领域（包括电子元器件）。

按施加应力方式来区分，有恒定应力、步进应力和序进应力三种方式。将样品分为若干组，每组固定一个保持不变的应力（高于正常条件下的应力），这种试验称为恒定应力加速寿命试验；若随时间分阶段逐步增加应力的试验则称为步进应力加速寿命试验；若随时间而连续增加应力的试验则称为序进应力加速寿命试验。上述三种方式比较起来，恒定应力加速寿命试验由于应力稳定，造成失效的因素较单一，准确度高，试验简便而且较容易取得成功，但试验时间相对来说还较长，此种方法被广泛采用。

2.3.6 故障效应分析与失效树分析

故障效应分析及失效树分析都是对复杂的设备或系统进行可靠性及安全性预测的分析方法。

2.3.6.1 故障效应分析

故障效应分析的全称是故障模式、影响与致命性分析（failure mode effect and criticality analysis），国际上通常用的缩写词为 FMECA。

FMECA 实际上是把 FMA（故障模式分析）、FEA（故障影响分析）、FCA（故障致命性分析）三种功能串在一起的一种可靠性分析方法。

FMECA 是把系统（或整机）分成若干组成成分（若干部件或若干元器件），分析各组成成分有哪些故障或失效模式。例如电气元件的短路、开路、特性值改变、绝缘破坏、氧化及噪声等，如机械零件轴的断裂、磨损、疲劳裂纹及黏结等。但不必分析各组成的失效机理。

FEA 是分析各组成成分在出现故障（或失效）时对系统有何影响。

FCA 是评价各组成成分出现各种故障模式时对系统影响的致命度，即按照其影响的致命程度进行分类。

FMECA 的主要目的是从定性角度去找出哪些是致命性的故障模式，并采取对策。应该指出，可靠度预测不能判定所发生故障的致命程度。

（1）FMECA 的实施方式　实施 FMECA 时，可参见表 2-22 的形式，表格中的栏目可根据实施 FMECA 的阶段不同而定其种类（A 或 B 或 C）。

表 2-22　故障模式、影响与致命性分析（FMECA）

设备(或部件)名称： 系统名称： 合同甲方： FMECA 制定者： 审查者： 年　月　日						结构示意图(功能框图)									
(1) 设备图纸序号	(2) 框图序号	(3) 功能或用途	(4) 故障模式	(5) 故障的可能原因	(6) 对设备的影响	(7) 对整个系统的影响	(8) 故障的检测方法	(9) 应采取的措施	(10) 故障的致命程度	(11) 使用阶段	(12) 故障概率或可靠度	(13) 故障率	(14) 使用时期	(15) 安全系数	(16) 备注
B C	A B C	A B C	A B C	A B C	A B C	B C	B C	A B C	A B C	C	C	C	C	C	C

（2）实施程序

第一步，弄清实施对象的各零部件与系统之间的相互关系，画出其功能框图，并一一列出零部件的图纸序号（或名称）。

第二步，分析所有可能出现的故障模式，并列出故障可能的原因。

第三步，分析该故障的出现对设备及整个系统的影响。

第四步，对各故障的后果进行定性分类，要从该系统的功能完成与否以及安全的角度来考虑，其一般分类如下。

Ⅰ类　潜在的可能造成人员死亡的故障

Ⅱ类　导致功能不能完成的故障

Ⅲ类　导致有效度降低的故障

Ⅳ类　导致需要计划以外维修工作的故障。

应该指出，一个零部件的放置不是一定会导致系统的故障，而是以一定的概率导致系统产生某种后果。然而，要定量地给出这个概率是比较困难的，所以，定量地描述致命度难以解决。

1级　必导致后果发生，即概率为100%

2级　后果发生的概率为10%～100%

3级　后果发生的概率较小，小于10%

4级　后果不致发生，即概率为零

例如，某故障模式的影响后果为Ⅱ类，可能定为2级概率，则在故障的致命程度一栏中记为“Ⅱ-2”。

可见，故障致命性不完全取决于后果的定性分类。因为某些后果可能危害极大，但由于导致这种后果的概率极小，或许是可以容忍的。

第五步，研究故障模式可能出现的时间及故障率（可以根据以往的经验或从可靠性数据交换中心获得）。

第六步，研究分析造成致命度严重的那些故障出现的可能原因及机理。

第七步，研究处理措施。

在运用FMECA方法时，是从元部件开始而逐步向系统的方向顺序进行分析的，分析示例见表2-23所示，故常称为回“上升型”分析法。必须指出，FMECA不能分析判断出那种当两个以上的元部件同时发生故障时才会发生的系统故障。要分析判断这种故障，就需要采用下一节所介绍的失效树分析法。

表2-23　FEMA分析示例

设备名称	造纸厂照明灯		设备名称	造纸厂照明灯	
元部件名称	主要故障模式	对设备的影响	反射镜及电珠	电珠跳开	不能工作
开关	扳动太紧	任务完成不佳		反射镜面模糊	任务完成不佳
	接触不良	不能工作		变形	任务完成慢
	短路	工作时间缩短	底盖	变形	任务完成慢
	电阻过大	任务完成不佳		脱落	不能工作
外壳组件	变形	任务完成慢		弹簧坏	不能工作
	短路	工作时间缩短			
	接触不良	不能工作			

2.3.6.2　失效树分析

失效树分析（fault tree analysis，FTA）与FMECA同样是可靠性模型的一种，区别在于FTA是从系统到部件，再到零件的方向顺序进行分析的，故称为“下降型”分析法。它是根据系统可靠的要求选择任意一种系统故障状态（即不希望出现的危害事件）作为分析的出发点。这个选定的系统故障状态称为顶端事件。然后往下分析，找出那些直接促成顶端事件出现的因素，并层层深入一直寻找到哪些是基本的因素（即其失效机理和概率分布都已清楚），从而不需再继续往下分析为止。这些最基本的原始因素称为初始事件。根据分析结果，将把这些因素的内在关系以相应的逻辑关系画成图形来表述。这种图形是以一个顶端事件为根，并且有若干个枝干，而在枝干上有由若干分支的类似于树形的图，故称为“失效树”。

在失效树中，处在枝干上较小的树，称它为“子树”，而前一级树则称为“父树”。

应用FTA法时，系统要素也应包含人为因素和环境条件等。这样的描述方法与质量分析中应用的因果图有类似之处。

用FTA法进行系统的可靠性分析，和FMECA法比较起来有如下的优点。

① 这种方法还可以用于分析系统组成部分中除硬件以外的其他成分（如软件、人为因素、环境条件等）的全部故障模式和因素，并按逻辑关系层层深入地分析。因此，FTA能在相对简化的条件下清楚地反映系统故障模式的内在联系，并反映出基础元部件（或基本事件）对系统故障所产生的影响。

② FTA法能指出产生系统故障的关键原因，这为改进系统设计提高可靠性指出了方向。

③ FTA法不但可以对系统的可靠性做出定性分析，而且还可以做出定量分析。

④ FTA法比较形象化，使用简便，尤其是对于较复杂的系统来说，作用更明显。

可见，FTA法是研究造成系统失效这一事件的各种直接和间接原因（也是事件），并在这些事件之间建立逻辑关系。因而这个方法在系统设计阶段可以帮助人们寻找潜在的关键事故，从而可以改进设计。在系统的使用阶段可以帮助人们进行失效诊断。FTA工作中利用电子计算机进行辅助分析计算，是分析复杂系统可靠性的一种有力工具。

第3章　设备的故障监测和诊断理论

现代制浆造纸机械发展的趋势是向大型化、高速化、连续化和自动化方向发展。由此而使设备的功能愈来愈多，性能指标愈来愈高，组成和结构愈来愈复杂，同时对制浆造纸设备管理与维修人员素质的要求也愈来愈高。一方面大大促进了生产的发展，主要表现在提高了生产率，改善了产品质量，降低了成本和改善了工人劳动条件，同时也节约了能源和精简了人员。另一方面也潜伏着一个很大的危机，即一旦发生故障所造成的直接、间接损失将是十分严重的。随着制浆造纸生产的发展，设备数量的迅速增长，这一危机造成的后果愈来愈严重，影响愈来愈突出。

所有这些，都促使机械故障诊断这门技术在制浆造纸工业中得到快速的应用。这门新的技术和学科的根本宗旨就是运用当代科技的新成就发现设备的隐患，并防患于未然。近年来这一技术发展迅速，对保障生产安全、提高生产率起到了良好的作用，同时也成了现代制浆造纸设备管理与维修人员必备的技术之一。

3.1　故障诊断的基本理论

（1）基本原理　一台设备，有的由成千上万个零件组成，经过一段时间运转，有的零件就会失效，造成故障。有的机器只用了两三天就坏了，有的机器却连续用了四五年，这是怎么回事？事实上，设计合理的机器不应当出现较多的早期故障。设备维修工程中根据统计得出一般机械设备劣化进程的规律如图 2-12 所示。

故障诊断的基本概念来源于医学，我国中医的“望、闻、问、切，辨症施治”八字诀极其精辟地总结了医学诊断的基本过程和原理。若用现代科技语言来表达。所谓“诊”就是提取信号特征进行状态分析（望闻问切），而“断”就是进行状态识别和决策（辨症施治）。具体来说，制浆造纸机械的故障诊断就是在动态情况下，利用制浆造纸设备劣化进程中产生的信息（即振动、噪声、压力、温度、流量、润滑状态及其他指标等）来进行状态分析和故障诊断的。

（2）基本内容

① 设备运行状态的监测。根据制浆造纸机械设备在运行时产生的信息判断设备是否运行正常，其目的是早期发现设备故障的苗头。

② 设备运行状态的趋势预测。在状态监测的基础上，对设备运行状态的发展趋势进行进一步预测的目的是为了预知制浆造纸设备劣化的速度以便为生产安排和维修计划提前做好准备。

③ 故障类型、程度、部位、原因的确定。最重要的是故障类型的确定，它是在状态监测的基础上，当确认机器已处于异常状态时所需要进一步解决的问题，其目的是为最后的诊断决策提供依据。

（3）基本方法

① 简易诊断法。主要采用便携式的简易诊断仪器，如测振仪、工业内窥镜、红外测温仪对设备进行人工巡回监测，根据设定的标准或人的经验分析，了解制浆造纸设备是否处于

正常状态。若发现异常则通过监测数据进一步了解其发展的趋势。因此，简易诊断法主要解决的是状态监测和一般的趋势预测问题。

② 精密诊断法。对已产生异常状态的原因采用精密诊断仪器和各种分析手段（包括计算机辅助分析方法、诊断专家系统等）进行综合分析，以期了解故障的类型、程度、部位和产生的原因及故障发展的趋势等问题。由此可见，精密诊断法主要解决的问题是分析故障原因和较准确地确定发展趋势。

③ 直接观察法。传统的直接观察法如“听、摸、看、闻”一直沿用到现在，在一些情况下仍然十分有效。但因其主要依靠人的感觉和经验，故有较大的局限性。随着技术的发展和进步，目前出现的光纤内窥镜、电子听诊仪、红外热像仪、激光全息摄影等现代手段，大大延长了人的感观器官，成为一种有效的诊断方法。

④ 振动噪声测定法。制浆造纸机械设备在动态下都会产生振动和噪声。进一步的研究还表明，振动和噪声的强弱及其包含的主要频率成分和故障的类型、程度、部位和原因等有着密切的联系。因此利用这种信息进行故障诊断是比较有效的方法，也是目前发展比较成熟的方法。特别是振动法，该法不受背景噪声干扰的影响，信号处理比较容易，而应用更加普遍。

⑤ 无损检验。是在不破坏材料表面及内部结构的情况下检验机械零部件缺陷的方法。其使用的手段包括超声、红外、X 射线、声发射、渗透染色等。这一套方法目前已发展成一个独立的分支，在检验由裂纹、砂眼、缩孔等缺陷造成的设备故障时比较有效。其局限性主要是某些方法（如超声、射线检测等）不便在动态下进行。

⑥ 磨损残余物测定法。制浆造纸设备润滑系统或液压系统的循环油路中，携带着大量的磨损残余物（磨粒）。它们的数量、大小、几何形状及成分反映了机器的磨损部位、程度和性质，根据这些信息可以有效地诊断设备的磨损状态。

⑦ 机器性能参数测定法。机器的性能参数主要包括显示机器主要功能的一些数据，如液泵的扬程，专用机床的精度，压缩机的压力、流量，碱回收喷射炉的功率、耗油量等。一般这些数据可以直接从机器的仪表上读出，由此可以判定机器的运行状态是否离开正常范周。

(4) 设备诊断的意义

① 预防事故。是开展设备诊断工作的直接目的和基本任务之一。但是对这一问题的深刻认识却是来之不易的。从某种意义上来说，设备诊断技术是在血和泪的反复教训下成长和发展起来的。

例如，1985 年 12 月 29 日我国山西某电厂一台 20 万千瓦发电机在 40s 内全部损坏，直接损失达 1000 万元以上。

2001 年，陕西汉中白特纸业一台造纸机停产 9h 就造成 40 万元的损失。

1993 年，咸阳造纸厂 1760 造纸机的真空压榨辊损坏，因无备品，返回厂家修理，造成停产一个月，直接经济损失在 750 万元以上。

2000 年四川宜宾纸业连续蒸煮器的高压转子给料阀意外损坏，导致直接经济损失在 100 万美元以上。

类似以上的设备事故每年都有大量的报道，它反复地提醒人们，为了避免设备事故，保障人身和设备的安全，积极发展设备诊断技术的研究并在现场开展这方面的工作已到了刻不容缓的地步了。

② 推动设备维修制度的改革。使设备维修从原先的事后维修制度出现了以下的改善提高。

a. 预防维修制度（PM）。又称为以时间为基础的维修制度（time based maintenance TBM）或计划维修制度。

b. 预知维修制度（predictive maintenance，PRM）。又称为以状态为基础的维修制度（condition based maintenance，CBM）。其特点为在状态监测的基础上，根据设备运行状态实际劣化的程度决定维修时间和维修的规模。显然这种维修方式的主要技术支承是设备诊断技术，而且是一种比较理想的动态维修制度。它是目前预防维修制度改革的方向。

目前我国制浆造纸设备正处于从预防维修制度向预知维修制度逐步过渡的起步阶段。

③ 提高经济效益。开展设备诊断所带来的经济效益应当包括减少可能发生的事故损失和延长检修周期所节约的维修费用等两项。

国外一些调查资料显示，开展设备诊断可带来可观的经济效益。英国曾对制浆造纸设备工厂调查表明，采用设备诊断技术后维修费用每年节约 1 亿英镑，除去诊断技术的费用 0.2 亿英镑外，净获利 0.8 亿英镑。美国 PEKRUL 电厂的调查资料表明，投入 20 万美元的设备诊断费年获利可达 126 万美元。日本的新日铁八幡厂热轧车间在第一年采用诊断技术后，事故率就由原来的 29 次/年，降为 8 次/年。

国内的综合事例表明，采用诊断技术可挽回损失约 30%～40%，其经济效益相当可观。

(5) 机械故障诊断技术发展概况　二次世界大战中盟军有大量军事装备，由于缺乏诊断技术和维修手段，而造成非战斗性损坏，使人们认识到发展这种技术的极端重要性。但二次世界大战后的多年间这方面的发展并不快，这是因为作为诊断技术基础的电子技术、计算机技术、信号处理技术等尚未获得充分发展。

20 世纪 60 年代以来，由于半导体的发展、集成电路的出现，导致电子技术、计算机技术的更新换代，特别是 1965 年 FFT 方法获得突破性进展后出现了数字信号处理和分析技术的新分支，这为设备诊断技术的发展奠定了直接的和必需的技术基础。

早在 1967 年在美国宇航局（NASA）和海军研究所（ONR）的倡导和组织下就成立了美国机械故障预防小组（MFPG），开始了有组织有计划地对诊断技术分专题进行研究。

在此期间很多学术机构如美国机械工程学会（ASME），政府部门如国家标准局（NBS），国家锅炉及高压容器监测中心（NBBI）以及一些高等院校和企业公司都参与或进行了与本行业有关的诊断技术的研究，取得了大量的成果。与此同时还出现了一些专业性的诊断仪器和监测系统制造厂商，如 Bently 公司，Scientific Atlanta 公司，Entekird 公司等，对推进诊断技术的应用起到了较大的作用。

英国于 20 世纪 70 年代初成立了机器保健与状态监测协会（MHMG & CMA），到 20 世纪 80 年代初在发展和推广设备诊断技术方面做了大量的工作，起到了积极的促进作用。英国曼彻斯特大学创立的沃森工业维修公司（WIMU）和斯旺西大学的摩擦磨损研究中心在诊断技术研究方面都具有很高的声誉。

欧洲一些国家的诊断技术发展各有特色。如瑞典 SPM 公司的轴承监测技术，SKF 公司的振动、噪声监测技术，挪威的船舶诊断技术等都各有千秋。

日本的诊断技术也在 20 世纪 70 年代中开始起步并发展很快，其特点是在民用工业如钢铁、化工、铁路等部门占有较大的优势。

我国起步较晚，1979 年原机械工业部在长春举办的设备科长学习班上，在学习日本的

全员生产维修（TPM）时才初步涉及设备诊断技术的概念，同时，一些高等院校和科研机关也开展了诊断技术的学术研究与此相适应，一些高等院校成立了有关专业，并将设备诊断技术列入教学计划，为设备诊断的后备人才提供了保证。

3.2 信号分析基础

3.2.1 信号的测量、传输及分类

（1）传感器的种类　机械故障诊断中许多待研究的物理量，如力、位移、转角、噪声等通常使用各种传感器将其转换为电压、电流等可测物理量后进行测量、记录和处理。

传感器的种类很多，按工作原理可分为电感、电阻、电容、电涡流、压电、光电、热电以及霍尔效应等类型的传感器；按被测量对象可分为力、位移、温度、噪声、应变或其组合如阻抗头（可同时测力和加速度）等类型的传感器；按被测量的物体运动状态可分为直线运动、旋转运动及相应的接触式或非接触式等类型的传感器；按被测量物体的工作状态可分为一般工作环境及特殊工作环境如超高压、超高温、超低压、超低温、强磁场、放射性、特殊气体及液体环境等类型的传感器。

这些传感器最重要的指标如下。

① 动态范围。指传感器输出量与物理输入量之间维持线性比例关系的测量范围，一般动态范围越大越好。

② 灵敏度。指传感器输出量与物理输入量之比。灵敏度高，不需前置放大器即可进行测量，灵敏度较低，需配接适当的放大器。有些传感器使用时就需配接专用放大器，此时灵敏度也可定义为专用放大器输出量与物理输入量之比。

③ 动态特性。指传感器的响应延时、幅频特性，相频特性等。一般要求在所测信号的频率范围内幅频特性是平直的，相频特性是线性的，响应延时越小越好，否则转换后的信号是失真的，进一步的分析处理也就失去意义。当然也可能为了特殊目的故意利用传感器的非平坦的幅频特性段，例如进行共振解调诊断滚动轴承的故障等。

④ 稳定性。指传感器长时间使用后灵敏度、动态范围、动态特性的变化小，重复精度高，否则要经常进行传感器的标定工作。

（2）信号传输及干扰噪声　当传感器灵敏度较低时或传感器距分析处理设备较远，通常要使用放大器或长距离电缆，它们也像传感器一样存在灵敏度、动态范围、动态特性及稳定性的问题，在这方面的要求也像传感器一样。传感器输出的信号包括感兴趣的信号和不感兴趣的信号（称为噪声信号），噪声信号通常是由于外界干扰如雷电、空间电磁波、环境温度、湿度、光照、杂质、尘埃等引起，而放大器输出的信号除了传感器输出的信号外，还会附加放大器自身产生的电噪声信号。不论是哪一种噪声，均是有害的，有时甚至会将有用信号完全湮没。动态信号分析中的一个重要内容就是研究这些噪声信号的特点，采用各种处理技术排除这些噪声信号，获得不失真的有用信号。

（3）信号的分类　信号可分为确定性信号及非确定性信号，所谓确定性信号是指可用数学关系式描述的信号，它又可分为周期信号及非周期信号，正弦波、方波等是典型的周期信号，而阶跃脉冲、半正弦脉冲等是典型的非周期信号。所谓非确定性信号是指不能用数学关系式描述的信号，也无法预知其将来的幅值，又称为随机信号，如电噪声信号。又如在不平坦的道路上行驶的汽车，车内产生的振动就是随机振动，它使乘客感到颠簸。

信号还可按其取值情况分为模拟信号和数字信号。模拟信号一般都是连续的，而数字信

号则是离散的。大多数传感器输出的信号是模拟的，如各种压电式、磁电式、电容式、电涡流式及霍尔效应等类型的传感器，少数传感器输出的信号是离散的，如测量转动的圆光栅，其输出信号为脉冲，通过脉冲计数确定转过的角度。现代电子计算机只能处理数字信号，使用模拟/数字（A/D）转换器后才能处理模拟信号。

3.2.2 信号的时域分析

所谓时域是指一个或多个信号其取值大小、相互关系等，可定义为很多不同的时间函数或参数，这些时间函数或参数的集合称为时域。

根据时间函数或参数的不同，时域进一步细分还可以分为幅值域、时差域、倒频域、复时域等。

3.2.2.1 幅值域

对样本记录的取值进行统计，称为在幅值域内对信号进行研究，此幅值是广义的幅值，即样本记录的一切可能取值。在幅值域内几个最重要的基本概念是概率密度函数、概率分布函数、均值、均方值、方差、歪度、峭度等。

（1）概率密度函数与概率分布函数

① 随机信号的概率表示。在研究 N 个随机信号样本时，在确定时刻 t_j，随机变量 $X_j(t_j)$的大小是不相同的，若能统计出其值在 x 与 $x+\Delta x$ 之间的样本为 n 个，可定义其概率为：

$$P_{\text{rob}}\{x \leqslant X(t) \leqslant x+\Delta x\} = \lim_{N\to\infty} \frac{n}{N} \tag{3-1}$$

② 概率密度函数。随机信号研究中，经常用到概率密度函数，其定义为

$$p(x,t) = \lim_{\Delta x\to 0} \frac{P_{\text{rob}}\{x \leqslant X(t) \leqslant x+\Delta x\}}{\Delta x} \tag{3-2}$$

即概率密度函数与所研究的时刻有关。

③ 概率分布函数。瞬时值小于或等于某值 x 的概率称为概率分布函数或累积概率分布函数，记作 $P(x,\ t)$，与概率密度函数的关系为

$$P(x,t) = P_{\text{rob}}\{X(t) \leqslant x\} = \int_{-\infty}^{x} p(\xi,t)\mathrm{d}\xi$$

$$p(x,t) = \frac{\partial P(x,t)}{\partial x} \tag{3-3}$$

（2）均值、均方值、方差、歪度与峭度

① 均值。用于描述信号的稳定分量，随机过程 $X(t)$的均值 $\mu_X(t)$定义为

$$\mu_X(t) = \lim_{N\to\infty} \frac{1}{N_i} \sum_{i=1}^{N} x_i(t) = E[X(t)] \tag{3-4}$$

式中，E [] 表示方括号中内容的数学期望或称为算术平均值。均值 $\mu_X(t)$的脚标 X 在此表示式（3-4）实际上是按 t 时刻的随机变量 X 统计的，所以一般随机过程的均值 $\mu_X(t)$为选定时刻 t 的函数。均值又称为一阶矩。

② 均方值、均方根值。用于描述信号的能量，随机过程 $X(t)$的均方值 $\Psi_X^2(t)$定义为

$$\Psi_X^2(t) = \lim_{N\to\infty} \frac{1}{N_i} \sum_{i=1}^{N} x_i^2(t) = E[X^2(t)] \tag{3-5}$$

均方根值 $\Psi_X(t)$为均方值的正平方根。均方值又称为二阶矩。

③ 方差、标准差。用于描述信号的波动分量，随机过程 $X(t)$的方差 $\sigma_X^2(t)$定义为

$$\sigma_X^2(t) = \lim_{N\to\infty}\frac{1}{N_i}\sum_{i=1}^{N}[x_i(t)-\mu_X(t)]^2 = E\{[X(t)-\mu_X(t)]^2\}$$
$$= \Psi_X^2(t) - \mu_X^2(t) \tag{3-6}$$

标准差 $\sigma_X(t)$是方差 $\sigma_X^2(t)$的正平方根。方差又称为二阶中心矩。

④ 歪度。又称为三阶矩，反映信号中大幅值成分的影响，随机过程 $X(t)$的歪度 $\alpha_X(t)$定义为

$$\alpha_X(t) = \lim_{N\to\infty}\frac{1}{N_i}\sum_{i=1}^{N}x_i^3(t) = E[X^3(t)] \tag{3-7}$$

⑤ 峭度。又称为四阶矩，反映信号中大幅值成分的影响，随机过程 $X(t)$的歪度 $\beta_X(t)$定义为

$$\beta_X(t) = \lim_{N\to\infty}\frac{1}{N_i}\sum_{i=1}^{N}x_i^4(t) = E[X^4(t)] \tag{3-8}$$

⑥ 均值、均方值、方差、歪度、峭度与概率密度函数之间的关系。当随机过程存在连续的概率密度时，定义积分 $\int_{-\infty}^{\infty}x^n p(x,t)\mathrm{d}x$ 为随机方程 $X(t)$ 的 n 阶矩；定义积分$\int_{-\infty}^{\infty}[x-\mu_X(t)]^n p(x,t)\mathrm{d}x$ 为随机过程 $X(t)$ 的 n 阶中心矩。

$$\mu_X(t) = \int_{-\infty}^{\infty}xp(x,t)\mathrm{d}x \tag{3-9}$$

$$\Psi_X^2(t) = \int_{-\infty}^{\infty}x^2p(x,t)\mathrm{d}x \tag{3-10}$$

$$\sigma_X^2(t) = \int_{-\infty}^{\infty}[x-\mu_X(t)]^2p(x,t)\mathrm{d}x \tag{3-11}$$

$$\alpha_X(t) = \int_{-\infty}^{\infty}x^3p(x,t)\mathrm{d}x \tag{3-12}$$

$$\beta_X(t) = \int_{-\infty}^{\infty}x^4p(x,t)\mathrm{d}x \tag{3-13}$$

3.2.2.2 时差域

对样本记录在不同时刻取值的相关性进行统计，称为在时差域内对信号进行研究。在时差域内几个最重要的基本概念是自相关函数、互相关函数、协方差函数等。

(1) 自相关函数　用于描述信号自身的相似程度。对于某一个随机过程，若 $X_1(t_1)$和 $X_2(t_2)$为其任意两个随机变量，其自相关函数定义为

$$R_{XX}(t_1,t_2) = \lim_{N\to\infty}\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}x_{1i}(t_1)x_{2i}(t_2)$$
$$= \int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}x_1x_2p(x_1,x_2,t_1,t_2)\mathrm{d}x_1\mathrm{d}x_2 \tag{3-14}$$

式中，$p(x_1,x_2,t_1,t_2)$ 为 $X(t)$ 的二维概率密度函数。

由于周期信号的自相关函数是周期函数，而噪声信号的自相关函数是 δ 函数，所以进行自相关函数分析，可以发现湮没在噪声中的周期信号。

(2) 互相关函数　用于描述两个信号之间的相似程度或相关性。对于某两个随机过程 $X(t)$ 和 $Y(t)$，其互相关函数定义为

$$R_{XY}(t_1,t_2)=\lim_{N\to\infty}\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}x_i(t_1)y_i(t_2)$$
$$=\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}x_y p(x_1,x_2,t_1,t_2)\mathrm{d}x\mathrm{d}y \tag{3-15}$$

式中，$p(x,y,t_1,t_2)$ 为 $X(t)$ 和 $Y(t)$ 的联合概率密度函数。

若互相关函数中出现峰值，则表示这两个信号是相似的，其中一路信号在时间上滞后了峰值所在的时差值。若互相关函数中几乎处处为零，则表示这两个信号互不相关。

(3) 协方差函数　对于随机过程 $X(t)$ 的 n 个不同时刻 $t_1,t_2,\cdots,t_n$；可定义协方差函数为

$$C_{X_1X_2\cdots X_n}(t_1t_2\cdots t_n)$$
$$=\lim_{N\to\infty}\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left\{\prod_{j=1}^{n}[x_{ji}(t_j)\mu_{X_j}(t_j)]\right\}$$
$$=\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}\cdots\int_{-\infty}^{\infty}\prod_{j=1}^{n}[x_j(t_j)-\mu_{X_j}(t_j)]p(x_1,x_2,\cdots,x_n,t_1,t_2,\cdots,t_n)\mathrm{d}x_1\mathrm{d}x_2\cdots\mathrm{d}x_n \tag{3-16}$$

其相关系数为

$$\rho_{X_1X_2\cdots X_n}(t_1,t_2,\cdots,t_n)=\frac{C_{X_1X_2\cdots X_n}(t_1,t_2,\cdots t_n)}{\sigma_{X_1}(t_1)\sigma_{X_2}(t_2)\cdots\sigma_{X_n}(t_n)} \tag{3-17}$$

当 $n=2$ 且随机变量 $X_1(t_1)$ 和 $X_2(t_2)$ 的均值为零时，此协方差函数就等于自相关函数。

对于 n 个随机过程，应当定义自协方差函数和互协方差函数，自协方差函数是相对互协方差函数而命名的，其实就是协方差函数，即当式 (3-16) 中的概率密度函数是多维概率密度函数时，式 (3-16) 定义了协方差函数。

利用脚标标注，将式 (3-16) 中的随机变量 $X(t)$ 视为不同的随机过程，将式 (3-16) 中的概率密度函数视为联合概率密度函数时，式 (3-16) 定义了互协方差函数。当 $n=2$ 且随机过程 $X(t)$ 和 $Y(t)$ 的均值为零时，此互协方差函数就等于互相关函数。

对应于自相关函数或互相关函数的相关系数称为自相关系数或互相关系数，也称为正规化的自相关函数或互相关函数，其取值总在 0～1 之间，0 表示完全不相关，1 则表示完全相关。

3.2.2.3　*各态历经过程*

为了计算随机过程 $X(t)$ 的统计量，需要知道 $X(t)$ 的全部样本函数或其概率密度函数，实际上是很难做到的。工程中存在一类平稳随机过程，只对其某个样本函数进行研究，就能计算该随机过程 $X(t)$ 的各统计量，这类随机过程就称为各态历经过程。

对于各态历经过程，可不按上述的有关公式计算概率密度函数、概率分布函数、均值、均方值、方差、歪度、峭度、自相关函数和互相关函数等，令 $x(t)$ 为各态历经过程 $X(t)$ 的某一样本函数，令 $y(t)$ 为各态历经过程 $Y(t)$ 的某一样本函数。

(1) 各统计量的新定义

① 概率分布函数

$$P(x)=\lim_{T\to\infty}\frac{1}{T}\sum_{i=1}^{n}\Delta t_j \tag{3-18}$$

② 概率密度函数

$$p(x)=\frac{\mathrm{d}P(x)}{\mathrm{d}x} \tag{3-19}$$

③ 均值

$$\mu_x = \lim_{T\to\infty}\frac{1}{T}\int_0^T x(t)\mathrm{d}t \tag{3-20}$$

④ 均方值

$$\Psi_x^2 = \lim_{T\to\infty}\frac{1}{T}\int_0^T x^2(t)\mathrm{d}t \tag{3-21}$$

⑤ 方差

$$\sigma_x^2 = \lim_{T\to\infty}\frac{1}{T}\int_0^T [x(t)-\mu_x]^2\mathrm{d}t \tag{3-22}$$

⑥ 歪度

$$\alpha_x = \lim_{T\to\infty}\frac{1}{T}\int_0^T x^3(t)\mathrm{d}t \tag{3-23}$$

⑦ 峭度

$$\beta_x = \lim_{T\to\infty}\frac{1}{T}\int_0^T x^4(t)\mathrm{d}t \tag{3-24}$$

⑧ 自相关函数

$$R_{xx}(\tau) = \lim_{T\to\infty}\frac{1}{T}\int_0^T x(t)x(t+\tau)\mathrm{d}t \tag{3-25}$$

⑨ 互相关函数

$$R_{xy}(\tau) = \lim_{T\to\infty}\frac{1}{T}\int_0^T x(t)y(t+\tau)\mathrm{d}t \tag{3-26}$$

$$R_{yx}(\tau) = \lim_{T\to\infty}\frac{1}{T}\int_0^T y(t)x(t+\tau)\mathrm{d}t \tag{3-27}$$

式中，T 为样本信号的长度。

(2) 确定性信号中非周期信号的各统计量计算公式与各态历经过程完全相同，对于周期信号，式 (3-18) ～式 (3-27) 中的 T 表示周期信号的周期，不需要取极限过程。

(3) 确定性信号与各态历经过程存在少数不同之处，如在幅值域内可定义以下统计量(见图 3-1)。

① 峰值。指在局部范围内的极大值（对应于正峰值）或极小值（对应于负峰值），对于周期信号，峰值一定会重复出现，对于非周期信号，峰值至少有一个，最大峰值描述信号的最大值。

② 幅值。专用于描述正弦信号的峰值，由于各种周期或非周期信号可表示为无穷多个正弦信号分量之和，所以这些周期或非周期信号的峰值不与其某个正弦信号分量的幅值相等。广义的幅值指信号某瞬间的取值。

③ 有效值。专用于描述正弦信号的均方根值，其大小为正弦信号幅值的 $1/\sqrt{2}$，对于其他信号，均方根值是其峰值的 $1/\sqrt{2}$。在正弦交流电路中，可用电压有效值乘以电流有效值求出电路中的功率。

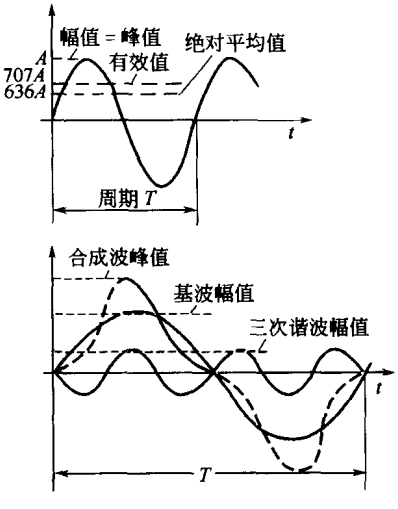


图 3-1 常见确定信号的时域参数

④ 绝对平均值。对于正弦等周期信号，采用模拟电路，往往很难求出信号的均方根值，实用中常采用整流电路得到信号的绝对平均值，再通过正弦信号均方根值与绝对平均值之间的关系，得到均方根值。绝对平均值的定义为

$$x_{abc} = \lim_{T\to\infty} \frac{1}{T}\int_0^T |x(t)|\,dt \tag{3-28}$$

对于正弦信号，均方根值与绝对平均值之比为 1.11；对于方波信号，均方根值与绝对平均值之比为 1。由此可见采用这种简单电路测量正弦信号的均方根值是准确的，而测量其他信号的均方根值就可能产生误差。必要时应采用真均方根值测试仪表进行测量。

3.2.3 信号的频域分析

所谓频域是指将周期信号展开为傅里叶（Fourier）级数，研究其中每个正弦谐波信号的幅值和相位等；或者对非周期信号或各态历经随机信号进行傅里叶变换，变换后的信号是频率的函数，这些频率的函数的集合称为频域。频域分析是指计算这些傅里叶级数或频率函数并进行分析，故频域分析也称为傅里叶分析。

满足狄利克雷（Dirichlet）条件的周期信号 $x(t)$ 的特点如下。

① $x(t)$ 在一个周期内处处连续或只有有限个不连续点。

② $x(t)$ 在一个周期内只有有限个极大和极小值。

③ $x(t)$ 在一个周期内的积分存在，即 $\int_0^T |x(t)|\,dt < \infty$ 。

则周期信号 $x(t)$ 可以展开为傅里叶级数，用实数形式表示的傅里叶级数为

$$\begin{aligned} x(t) &= \frac{1}{2}a_0 + \sum_{r=1}^{\infty}(a_r\cos 2\pi r f_0 t + b_r \sin 2\pi r f_0 t) \\ a_r &= \frac{2}{T}\int_0^T x(t)\cos 2\pi r f_0 t\,dt,\quad r = 0,1,2,\cdots \\ b_r &= \frac{2}{T}\int_0^T x(t)\sin 2\pi r f_0 t\,dt,\quad r = 1,2,\cdots \end{aligned} \tag{3-29}$$

用复数形式表示的傅里叶级数为

$$\begin{aligned} x(t) &= \frac{1}{2}C_0 + \sum_{\substack{r=-\infty \\ r\neq 0}}^{\infty} C_r e^{i2\pi r f_0 t} \\ C_r &= \frac{2}{T}\int_0^T x(t)e^{-i2\pi r f_0 t}\,dt,\quad r = 0,\pm 1,\pm 2\cdots \end{aligned} \tag{3-30}$$

式中 $\frac{1}{2}a_0$ 或 $\frac{1}{2}C_0$——称为稳态分量；

f_0——称为基波频率；

$\cos 2\pi f_0 t$，$\sin 2\pi f_0 t$ 或 $e^{i2\pi f_0 t}$——称为基波；

rf_0——称为 r 次谐波频率；

$\cos 2\pi r f_0 t$，$\sin 2\pi r f_0 t$ 或 $e^{i2\pi r f_0 t}$——称为 r 次谐波。

将复傅里叶系数 C_r 按频率大小依次排列，可构成一个离散的频率函数，称为线状频谱，研究此频谱中的幅值和相位关系，就能了解信号的频率结构，发现信号产生的原因或采取相应措施加以控制。

一个周期信号的均方值可按傅里叶系数计算，因为按式（3-29）周期信号的均方值可表示为

$$\Psi_r^2 = \frac{1}{T}\int_0^T x^2(t)\mathrm{d}t$$

$$= \frac{1}{T}\int_0^T \left[\frac{1}{2}a_0 + \sum_{r=1}^{\infty}(a_r\cos 2\pi r f_0 t + b_r \sin 2\pi r f_0 t)\right]^2 \mathrm{d}t \tag{3-31}$$

因为正弦函数的正交性，积分结果为

$$\Psi_x^2 = \frac{1}{4}a_0^2 + \frac{1}{2}\sum_{r=1}^{\infty}(a_r^2 + b_r^2) \tag{3-32}$$

满足狄利克雷条件的非周期信号或各态历经过程 $x(t)$ 的特点如下。

① $x(t)$ 处处连续或只有有限个不连续点。

② $x(t)$ 只有有限个极大和极小值。

③ $x(t)$ 整个时域内的积分存在，即 $\int_{-\infty}^{\infty}|x(t)|\,\mathrm{d}t < \infty$。

则非周期信号或各态历经过程的 $x(t)$ 可以进行傅里叶变换，即

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)\mathrm{e}^{-i2\pi ft}\mathrm{d}t \tag{3-33}$$

相应的逆变换公式为

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} X(f)\mathrm{e}^{i2\pi ft}\mathrm{d}f \tag{3-34}$$

式中，$X(f)$为非周期信号或各态历经随机信号 $x(t)$的连续频谱，严格说应称为幅值、密度谱。所谓密度是指 $X(f)$的以量纲为单位频率上的幅值。若引入 δ 函数，则有些不满足狄利克雷条件的周期或非周期信号或各态历经随机信号的傅里叶变换也是存在的。

δ 函数的定义

$$\delta(t) = \lim_{a\to\infty}\frac{\sin at}{\pi t}$$

δ 函数最常用的性质为筛选（或采样性质）和尺度变化性质

$$\int_{-\infty}^{\infty}\Phi(t)\delta(t-t_0)\mathrm{d}t = \Phi(t_0)$$

$$\delta(at) = \frac{1}{|a|}\delta(t)$$

式中，$\Phi(t)$ 为任意时间函数。

根据以上定义及性质，正弦信号的傅里叶变换为频率上的 δ 函数，又如时域上的常数等。

为了简化，可将式（3-35）及式（3-36）的关系用符号◎表示为

$$x(t) \text{◎} X(f)$$

式中，$x(t)$ 和 $X(f)$ 为傅里叶变换对。

频域内最重要的函数是自功率谱密度函数和互功率谱密度函数。也可以定义能量谱密度函数，所谓功率谱密度函数或能量谱密度函数是指其量纲为单位频率上的功率或能量。引入 δ 函数后，在频谱存在的条件下，能量谱或功率谱密度函数也存在，一般习惯称为功率谱密度函数，不作严格区分。

（1）自功率谱密度函数　用于表示信号能量的频率结构。自功率谱密度函数的定义为

$$S_{xx}(f) = X^*(f)X(f) \tag{3-35}$$

式中，$X(f)$为时间信号 $x(t)$的傅里叶变换；$X^*(f)$为 $X(f)$的共轭函数。

(2) 互功率谱密度函数　用于表示两个信号能量之间的频率结构关系，其定义为

$$S_{xy}(f)=X^*(f)Y(f) \tag{3-36}$$

式中，$X(f)$为时间信号 $x(t)$的傅里叶变换；$Y(f)$为时间信号 $y(t)$的傅里叶变换；$X^*(f)$是 $X(f)$的共轭函数。

(3) 相关函数与功率谱密度函数的关系　可以证明相关函数与功率谱密度函数的关系是一对傅里叶变换对的关系，即

$$\begin{aligned} R_{xx} &\text{◎} S_{xx}(f) \\ R_{xy} &\text{◎} S_{xy}(f) \end{aligned} \tag{3-37}$$

式 (3-37) 又称为维纳-辛钦关系式。

m 个时间信号 $x(t)$ 的互相关性，可用互相关矩阵表示为

$$[R(t)]=\begin{bmatrix} R_{x_1x_1}(t) & R_{x_1x_2}(t) & \Lambda & R_{x_1x_m}(t) \\ R_{x_2x_1}(t) & R_{x_2x_2}(t) & \Lambda & R_{x_2x_m}(t) \\ \mathrm{M} & \mathrm{M} & \mathrm{M} & \mathrm{M} \\ R_{x_mx_1}(t) & R_{x_mx_2}(t) & \Lambda & R_{x_mx_m}(t) \end{bmatrix} \tag{3-38}$$

对角线上的元素实际上是自相关函数。

相应的也存在互功率谱密度矩阵

$$[S(f)]=\begin{bmatrix} S_{x_1x_1}(f) & S_{x_1x_2}(f) & \Lambda & S_{x_1x_m}(f) \\ S_{x_2x_1}(f) & S_{x_2x_2}(f) & \Lambda & S_{x_2x_m}(f) \\ \mathrm{M} & \mathrm{M} & \mathrm{M} & \mathrm{M} \\ S_{x_mx_1}(f) & S_{x_mx_2}(f) & \Lambda & S_{x_mx_m}(f) \end{bmatrix} \tag{3-39}$$

同样对角线上的元素实际上是自功率谱密度函数。

(4) 巴什瓦 (Parseval) 定理　可表示为

$$\int_{-\infty}^{\infty} x^2(t)\mathrm{d}x = \int_{-\infty}^{\infty} S_{xy}(f)\mathrm{d}f \tag{3-40}$$

它表示一个信号在时域中计算出的能量等于在频域中计算出的能量。

(5) 卷积定理　可表示为

$$x(t)\otimes y(t)\text{◎}X(f)Y(f) \tag{3-41}$$

式中，符号⊗表示卷积，即

$$\begin{aligned} x(t)\otimes y(t) &= \int_{-\infty}^{\infty} x(t)y(t-\tau)\mathrm{d}t \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} x(t-\tau)y(t)\mathrm{d}t \end{aligned}$$

卷积定理表明两个信号在时域内的卷积与两个信号傅里叶变换的乘积为傅里叶变换对。在利用快速傅里叶变换计算卷积时，就要用到卷积定理。

3.2.4　模拟信号分析

(1) 信号放大　以上介绍了传感器的灵敏度、动态范围、动态特性及稳定性等问题，对

于放大器同样也有类似的要求。理想放大器的动态特性由图 3-2 中的实线表示。实际上，理想放大器是不存在的，工作中放大器的动态特性一般由图 3-2 中的虚线所表示。

工程中有时需串联多个放大器进行多级放大，当各级放大器的输出阻抗较小而输入阻抗较大，可认为总放大倍数（增益）为各级放大器放大倍数（增益）之积，总的通带宽度要小于通带宽度最小的那一级放大器。

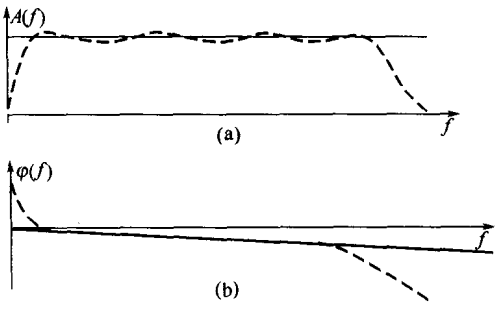


图 3-2　放大器的动态特性

(a) 幅频曲线；(b) 相频曲线

(2) 调制电路　可分为调幅、调频、调相等多种电路，也有相应的解调电路。

① 调幅电路。应用较广，基本原理就是对两路信号进行乘法运算，即设一路信号为 $y(t)=Y\sin(\Omega t)$，其频率 Ω 较高，称为载波信号；另一路信号为 $x(t)=X\sin(\omega t+\phi)$，其频率 ω 较低，称为调制信号，两路信号相乘，得

$$\begin{aligned} z(t) &= y(t)x(t) \\ &= Y\sin(\Omega t)X\sin(\omega t+\phi) \\ &= \frac{1}{2}YX\cos[(\Omega-\omega)t-\phi]-\frac{1}{2}YX\cos[(\Omega+\omega)t+\phi] \end{aligned} \tag{3-42}$$

调幅后的信号中没有频率为 Ω 的载波信号，只有其附近的一对边频，称为抑制调幅波。若调制信号包含较多的频率成分，调幅后的信号由中心频率 Ω 附近的很多对边频组成。抑制调幅波中包含有调制信号的幅值、相位信息，但必须采用同步解调，才能恢复原调制信号。

另外一种调幅的办法是先将调制信号叠加一个直流分量

$$x(t)=A+X\sin(\omega t+\phi)$$

与载波信号相乘后得

$$\begin{aligned} z(t) &= y(t)x(t) \\ &= Y\sin(\Omega t)[A+X\sin(\omega t+\phi)] \\ &= YA\sin(\Omega t)\frac{1}{2}YX\cos[(\Omega-\omega)t-\phi]-\frac{1}{2}YX\cos[(\Omega+\omega)t+\phi] \end{aligned} \tag{3-43}$$

此时调幅后的信号中有频率为 Ω 的载波信号及其附近的一对边频，调幅后信号的包络线就是调制信号，称为非抑制调幅波。非抑制调幅波只要使用简单的包络检波就能恢复原调制信号。调幅技术在外差式谱分析仪中得到应用。

② 调频。正弦波载波的频率按调制信号幅值变化规律而变化的调制过程称为调频，瞬时频率可以定义为角位移 Φ 对时间的导数，即 $\mathrm{d}\Phi/\mathrm{d}t$，正弦波的角位移可表示为 $\Phi=\Omega t+\theta$，$\mathrm{d}\Phi/\mathrm{d}t=\Omega=$常数，调频时瞬间频率为 $\mathrm{d}\Phi/\mathrm{d}t=\Omega[1+x(t)]$，若假定调制信号为

$$x(t)=X\cos(\omega t) \tag{3-44}$$

则角位移为

$$\Phi=\Omega t+\Omega\int x(t)\mathrm{d}t=\Omega t+\frac{\Omega}{\omega}X\sin(\omega t)$$

调制信号为

$$
\begin{aligned}
z(t) &= Y\sin\Phi \\
&= Y\sin[\Omega t + m_f \sin(\omega t)] \\
&= Y\sin\Omega t\cos[m_f\sin(\omega t)] + Y\cos(\omega t)\sin[m_f\sin(\omega t)]
\end{aligned} \tag{3-45}
$$

式中，m_f 为调频指数$=\dfrac{\Omega}{\omega}X$。

为了研究调频波的频谱，利用贝塞尔（Bessel）函数将式（3-45）展开，得

$$
\begin{aligned}
z(t) = Y\{&J_0(m_f)\sin(\Omega t) + J_1(m_f)\sin[(\Omega+\omega)t] - J_1(m_f)\sin[(\Omega-\omega)t] \\
&+ J_2(m_f)\sin[(\Omega+2\omega)t] - J_2(m_f)\sin[(\Omega-2\omega)t] + \cdots \\
&+ J_n(m_f)\sin[(\Omega+n\omega)t] - J_n(m_f)\sin[(\Omega-n\omega)t] + \cdots\}
\end{aligned} \tag{3-46}
$$

式中，$J_n(m_f)$ 为 m_f 的 n 阶贝塞尔函数。

式（3-46）表明，当调制信号仅为单一正弦波时，调频波中也含有无穷多的频率成分，调频比调幅所要求的带宽要大得多，但因为调频信号所携带的信息包含在频率变化中，一般干扰作用主要引起信号幅度变化，对于调频波很容易通过限幅器消除干扰，所以调频能有效地改善信噪比，高性能的磁带记录仪往往采用调频、调相技术。

③ 调相。正弦波载波的相位按调制信号幅值变化规律而变化的调制过程称为调相，当调制信号为

$$
x(t) = X\sin\omega t \tag{3-47}
$$

调相波的表达式为

$$
z(t) = Y\sin\Phi = Y\sin[\Omega t + X\sin\omega t] \tag{3-48}
$$

式（3-48）似乎与式（3-45）完全相同，但物理意义不同，式（3-45）表明调频过程中引起相位随时间变化，但相位变化规律与原调制信号即式（3-44）不同；反过来式（3-48）表明调相过程必然也会引起频率随时间变化，但频率变化规律与原调制信号即式（3-47）不同。调相与调频在边频、带宽、抗干扰等方面是类似的，在此不重复叙述，不过它们在解调方面是不相同的。

（3）滤波　模拟滤波器按其频率特性可分为四类，即低通滤波器、高通滤波器、带通滤波器和带阻滤波器。图 3-3 表示了这四种滤波器的理想（实线）和实际（虚线）的幅频曲线。

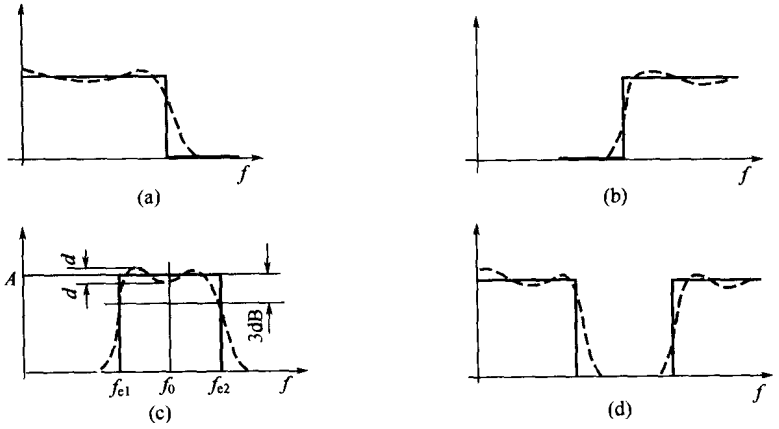


图 3-3　理想和实际的滤波器幅频曲线

（a）低通滤波器；（b）高通滤波器；（c）带通滤波器；（d）带阻滤波器

实际的滤波器幅频曲线不可能是矩形的，需要用一些特性参数来描述，以图 3-3 中的带通滤波器为例，有以下参数。

① 通带增益 A。通带增益 A 定义为通带内波纹起伏的平均值。

② 带宽 B。比通带增益 A 小 3dB 的点所对应的频率分别为上截止频率 f_2 和下截止频率 f_1，半功率带宽 B 可以定义为

$$B=f_2-f_1$$

③ 阻带衰减率。一般用每倍频程下降多少分贝表示，通常阻带衰减率越大，通带内的波纹也越大，这与傅里叶变换中的吉布斯（Gibbs）现象有关。

④ 中心频率。对于带通或带阻滤波器而言，中心频率定义为

$$f_0=(f_2+f_1)/2$$

实际中常用低通滤波器作为抗混滤波器，用高通滤波器进行宽带解调，用窄带宽带通滤波器进行频谱分析等。

3.2.5 数字信号分析

由于电子计算机的应用与普及，快速傅里叶变换（FFT）技术的出现，数字信号分析发展越来越快，已有完全替代模拟分析的趋势，这是因为数字信号分析在记录、显示、灵活采用多种分析、分辨能力甚至运算速度等方面都优于模拟信号分析。进行数字信号分析，可以采用专用的数据处理机，用硬件进行快速傅里叶变换，也可在普通电子计算机的控制下，先进行模拟/数字（A/D）转换（即采样），再用软件或硬件进行快速傅里叶变换及计算其他函数。

（1）采样、离散傅里叶变换与窗函数　采样就是按规定的时间间隔 Δt 从连续时间信号中抽取一系列离散采样值并量化成数字信号，时间间隔 Δt 必须大于量化一个采样值所需的时间才能保证采样能连续进行下去，$f=1/\Delta t$ 称为采样频率，各种 A/D 转换器件都规定了它能工作的最高采样频率。为了缩短量化一个采样值所需的时间，一般均把采样值经过舍入，变为只有有限个有效数字的整数，这个整数最大为 255 时，用二进制表示有 8bit，最大为 4095 时，用二进制表示有 12bit，分别表示量化能达到的精度。采样后的数据总是离散而有限的，这就引出了离散傅里叶变换的问题，即希望电子计算机算出的离散傅里叶变换与原信号的连续傅里叶变换是一致的。

离散傅里叶变换式为

$$X(n)=\sum_{K=0}^{N-1}x(k)\mathrm{e}^{-\mathrm{i}2\pi nk/N} \tag{3-49}$$

离散逆傅里叶变换式为

$$x(k)=\frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1}X(N)\mathrm{e}^{-\mathrm{i}2\pi nk/N} \tag{3-50}$$

或

$$x(k)=\frac{1}{N}\Big[\sum_{n=0}^{N-1}X^*(N)\mathrm{e}^{-\mathrm{i}2\pi nk/N}\Big] \tag{3-51}$$

式（3-51）的优点是只经过简单的取共轭运算就可用计算傅里叶变换的程序来计算逆傅里叶变换。

简单分析可知，若不希望产生频率混叠现象，采样频率必须大于最高被分析频率两倍以上，或必须将大于 1/2 采样频率以上的频率成分滤掉，即进行抗混滤波，这称为香农（Shannon）采样定理；若希望减小皱波，则时域中不能突然截断信号，应根据信号的特点，

采用不同的窗函数，减小皱波效应。

（2）时域统计量的离散运算及平均方法　采样后的信号是离散的，积分相应的要变为求和运算，所以式（3-18）～式（3-28）均可按下列各式运算。

① 概率密度函数

$$p(j)=\frac{1}{N}\sum_{K=0}^{N-1}q[x(k)]$$

$$q[x(k)]=\begin{cases}1 & j\Delta x-\dfrac{\Delta x}{2}\leqslant x(k)\leqslant j\Delta x+\dfrac{\Delta x}{2}\\ 0 & 0<j<511\end{cases}\tag{3-52}$$

② 概率分布函数

$$p(j)=\sum_{K=0}^{j}p(k)\qquad 0<j<511\tag{3-53}$$

③ 均值

$$\mu_x=\frac{1}{N}\sum_{K=0}^{N-1}x(k)\tag{3-54}$$

④ 均方值

$$\Psi_x^2=\frac{1}{N}\sum_{K=0}^{N-1}x^2(k)\tag{3-55}$$

⑤ 方差

$$\sigma_x^2=\frac{1}{N}\sum_{K=0}^{N-1}[x(k)-\mu_x]^2\tag{3-56}$$

⑥ 歪度

$$\alpha_x=\frac{1}{N}\sum_{K=0}^{N-1}x^3(k)\tag{3-57}$$

⑦ 峭度

$$\beta_x=\frac{1}{N}\sum_{K=0}^{N-1}x^4(k)\tag{3-58}$$

⑧ 自相关函数

$$R_{xx}(n)=\sum_{K=0}^{N-1}x(k)x(k+n),\quad 0\leqslant n\leqslant(N-1)\tag{3-59}$$

⑨ 互相关函数

$$R_{xy}(n)=\sum_{K=0}^{N-1}x(k)y(k+n),\quad 0\leqslant n\leqslant(N-1)\tag{3-60}$$

⑩ 绝对平均值

$$x_{\mathrm{abs}}=\frac{1}{N}\sum_{K=0}^{N-1}|x(k)|\tag{3-61}$$

由于数据处理设备的限制，采样后的数据点数 N 不可能非常大，常用的点数一般为1024、2048、4096等，只按一个样本的结果来分析信号，尤其对于平稳随机过程会产生较大的估计误差。解决的办法是，根据数据处理设备的特点，可每次采样 N 点，进行处理并保存中间结果；再采样 N 点，进行处理与前次中间结果平均，就能减少估计误差。这种方法称为集合平均的方法，它是算术平均的一种推广。

常用的平均方法有如下两种。

① 线性平均。假定每次处理的结果为 a_n 平均后的中间结果为 A_n，第（$n-1$）次算术平均应为

$$A_{n-1}=\frac{1}{n-1}\sum_{K=1}^{N-1}a_k$$

按式（3-62）计算第 n 次的中间结果

$$A_n=\left(1-\frac{1}{n}\right)A_{n-1}+\frac{a_n}{n}=\frac{n-1}{n}\times\frac{1}{n-1}\sum_{K=1}^{n-1}a_k+\frac{a_n}{n}=\frac{1}{n}\sum_{K=1}^{n}a_k \tag{3-62}$$

这正是第 n 次算术平均。

线性平均适合于确定性信号及各态历经信号。

② 指数平均

$$A_n=\left(1-\frac{1}{M}\right)A_{n-1}+\frac{a_n}{n}$$

式中，M 为任意正整数，当 $n>M$ 时，可以证明前次的中间结果对当前平均值的影响随平均次数 n 的增加而减弱，M 越大则减弱越慢。指数平均适合渐变的非平稳信号，如用于计算均值、均方值或方差等，可观察到其随时间渐变的过程。在数字数据处理中，平均首先用于功率谱密度函数的平均，其他函数均由功率谱密度函数推导，也就自然经过平均，这称为谱平均方式。在谱平均方式中，有用信号的频率、幅值或两路信号之间的相位差一般不随时间变化，平均后对应谱线的幅值、相位亦不变化，而不需要的信号尤其是随机信号的频率、幅值、相位等随时变化，平均后将趋向对应谱线的均值，因而平均后的谱变得更光滑且保持原有信噪比不变。另一种不同的平均方式称为时域同期平均，这种方式需要与有用信号同步的触发信号，例如需要分析齿轮的啮合频率信号，可在齿轮轴上设置光码盘，利用光码盘的信号启动采样，此时采到的有用信号相位可保持完全一致，对时间信号直接进行平均，就可消除那些相位与触发信号不同步的随机信号，平均后再求功率谱密度函数，可以提高信噪比。

（3）快速傅里叶变换　若用计算机直接计算式（3-49），需要 N^2 次复数乘法及 $N(N+1)$ 次复数加法，自从 1965 年由美国库利（J. W. Cooley）和图基（J. W. Tukey）提出 FFT 算法后，只需 $N\log_2 N$ 数量级的运算，大大地节约了运算时间，被认为是信号分析技术的划时代的标志。FFT 算法有很多变形，也发表过许多编好的程序，对算法感兴趣的读者可参看有关专著。

3.2.6　频率细化分析技术

频率细化分析（或称为局部频谱放大），能使某些感兴趣的重点频谱区域得到较高的分辨率，提高了分析的准确性，是 20 世纪 70 年代发展起来的一种新技术。频率细化分析的基本思想是利用频移定理，对被分析信号进行复调制，再重新采样作傅里叶变换，即可得到更高的频率分辨率，其主要计算步骤为，假定要在频带（$f_1\sim f_2$）范围内进行频率细化，此频带中心频率为 $f_0=(f_1+f_2)/2$ 对被分析信号 $x(k)$ 进行复调制（可以是模拟的也可是数字的），得频移信号

$$y(k)=x(k)\mathrm{e}^{-\mathrm{i}2\pi KL/N},\quad L=\frac{f_0}{\Delta f}$$

式中，Δf 是未细化分析前的频率间隔，也可仅为一参考值。

根据频移定理，$Y(n)=X(n+L)$，相当于把 $X(n)$ 中的第 L 条谱线移到 $Y(n)$ 的零谱线位置了。此时降低采样频率为$(2N\Delta f/D)$。对频移信号重采样或对已采样数据频移处理后进

行选抽，就能提高频率分辨率 D 倍分析 $Y(n)$ 零谱线附近的频谱，也即 $X(n)$ 中第 L 条谱线附近的频谱。D 是一个比例因子，又称为选抽比或细化倍数

$$D=N\Delta f/(f_2-f_1)$$

为了保证选抽后不至于产生频混现象，在选抽前应进行抗混滤波，滤波器的截止频率为采样频率的 1/2。

复调制细化包括幅值细化与相位细化，由于复调制过程中需通过数字滤波器，产生附加相移，所以一般要按滤波器的相位特性予以修正。才能得到真实的细化相位谱。

3.3 故障诊断实例

3.3.1 1760 纸机轴承故障监测与诊断研究

利用自制轴承故障诊断系统对兴平造纸厂纸机轴承进行监测及诊断。用数据采集器在设备现场采集纸机滚动部位振动信号并储存，传送到计算机，利用振动分析软件进行深入分析，从而得到滚动轴承各种振动参数的准确数值，进而判断这些滚动轴承是否存在故障，效果是令人满意的。

(1) 测控网络　监测子系统采用了基于现场总线概念的两级测控网络，包括现场级和管理级。根据现场需要选用 ADAM4017 用于模拟量的测量，ADAM4520 实现 RS485 到 RS232 的接口转换。

(2) 敏感因子的确定　通过对振动信号的均方根值、波峰值、峭度值做随着对象不同变化情况的对比，得出峭度值是敏感因子这一重要结论。图 3-4 说明了这个对比。峭度值最好，它的变化最大，是优良的诊断指标；波峰值除了一个明显的高点，其余变化没有峭度值大；均方根值变化最平稳。敏感排序为：峭度值＞波峰值＞均方根值。根据本系统对兴平纸厂轴承的监测得到的数据及综合结论见表 3-1。

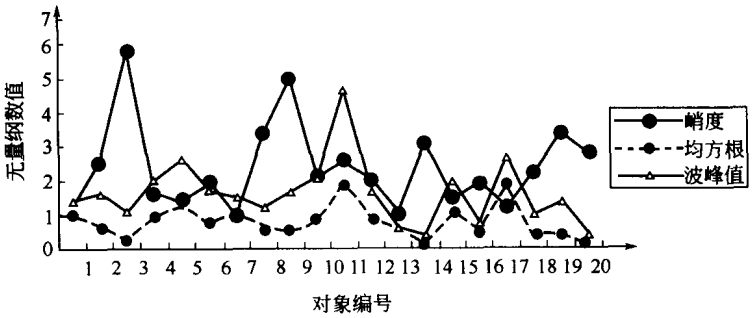


图 3-4　敏感因子分析

纸机烘缸加速度信号无量纲诊断指标

(3) 相关性研究　应用 MATLAB 工程软件，研究该纸机 1 号～20 号烘缸轴承振动信号的相关性曲线，如图 3-5 所示。由图 3-5 中可见，3 号、14 号、17 号、20 号烘缸轴承振动信号的相关性相对较低（＜0.5），相关性相对较低表明与样本内其他烘缸轴承不同，相似性较差；而其他烘缸轴承振动的相关性相对较好，表明相似性比较好。

(4) 烘缸轴承的特征距离值及特征值三维图分析

由图 3-6 中可见，3 号、9 号、11 号烘缸轴承的特征距离值（峭度^2＋均值^2＋峰值^2）$^{1/2}$ 较大（＞5），与样本内其他烘缸轴承明显不同，对烘缸轴承状态需要给予特别注意；而其他烘缸轴承的特征距离值均为＜4，无需特别注意，即认为无危险。

表 3-1　烘缸轴承振动信号数据和综合结论

烘缸序号	对象编号	峭度	均方根	波峰值	综合结论	烘缸序号	对象编号	峭度	均方根	波峰值	综合结论
1#	1	1.1	1.0	1.4	良好	10#传动侧	11	2.6	1.9	4.7	振动强烈
2#	2	2.5	0.6	1.6	良好	11#	12	2.0	0.8	1.7	注意
3#	3	5.8	0.2	1.1	注意	12#	13	1.0	0.6	0.6	良好
4#	4	1.6	0.9	2.0	良好	13#	14	3.1	0.1	0.4	良好
5#	5	1.4	1.3	2.6	良好	14#	15	1.5	1.1	2.0	良好
6#	6	1.9	0.7	1.7	良好	15#	16	1.9	0.5	0.8	良好
7#	7	1.0	1.1	1.5	良好	16#	17	1.2	1.8	2.7	良好
8#	8	3.4	0.6	1.2	良好	17#	18	2.2	0.4	1.0	良好
9#	9	5.0	0.5	1.7	注意	18#	19	3.4	0.4	1.4	良好
10#	10	2.1	0.8	2.1	良好	19#	20	2.8	0.1	0.4	良好

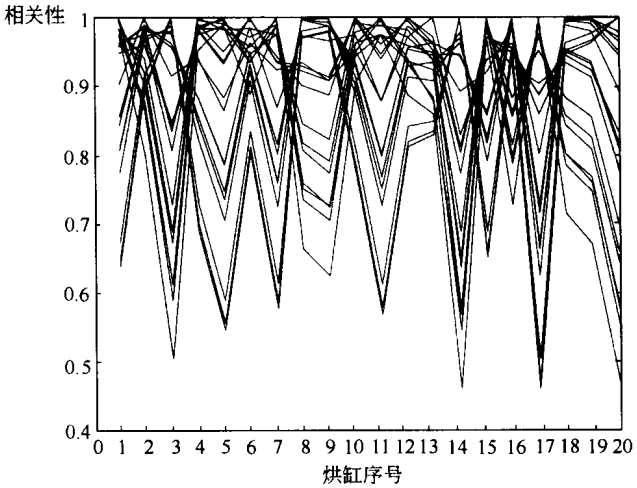


图 3-5　1 号～20 号烘缸轴承振动信号的相关性曲线

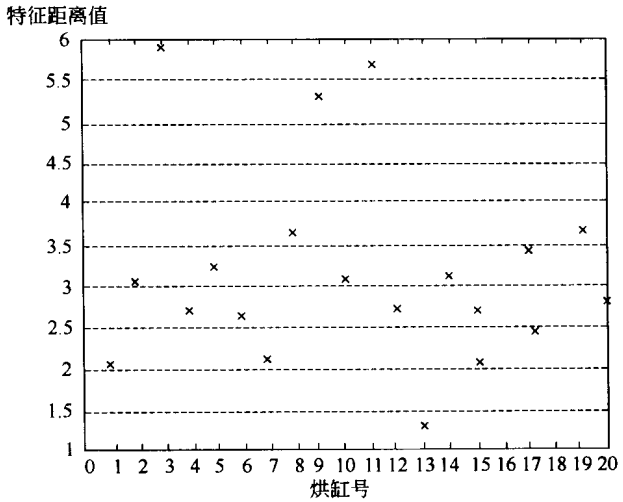


图 3-6　1 号～20 号烘缸轴承的特征距离值平面图

$(峭度^2+均值^2+峰值^2)^{1/2}$

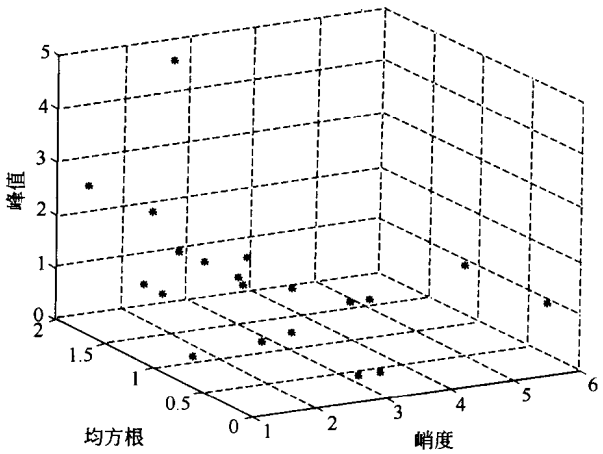


图 3-7　1 号～20 号烘缸轴承的特征值三维图

图 3-7 所示的三维图分析并比较直观地表明了与图 3-6 完全相同的观点。

(5) 轴承实测曲线及分析　由表3-1可清楚地说明 10 号烘缸操作侧和传动侧的指标情况，其峭度值相差 0.5，均方根值相差 1.1，波峰值相差 2.6。峭度值是一个敏感的指标，同一个烘缸两侧的峭度值差别只有 0.5，说明烘缸两侧的峭度变化不大，轴承状况相似，所以认为运行状况良好。相对于峭度值，均方根值和波峰值发生了显著的变化，这也说明，均方根和波峰值随主轴转速、切削力大小、时间变化而变化，而对冲击脉冲不敏感，与设备运行的工况有关。因为，峭度指标对冲击脉冲的大小和概率密度的变化最为敏感，对故障有很高的灵敏度，所以 10 号烘缸传动侧轴承没有故障，可能是其他原因导致的振动幅值较大。

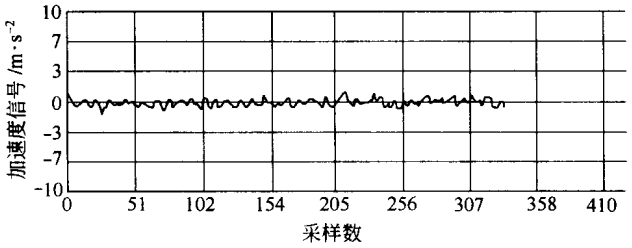


图 3-8　10 号烘缸操作侧的加速度实时曲线

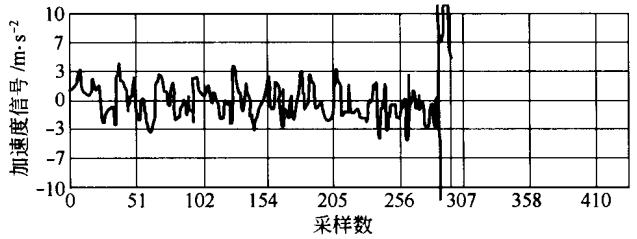


图 3-9　10 号烘缸传动侧的加速度实时曲线

图 3-8、图 3-9 分别为 10 号烘缸操作侧和传动侧的加速度实时曲线图。综合分析结论见表 3-2。

表 3-2　轴承状态

较优的轴承	需注意的轴承	振动强烈的轴承	较优的轴承	需注意的轴承	振动强烈的轴承
1 号烘缸	3 号烘缸	三压上辊	真空伏辊	9 号烘缸	10 号烘缸传动侧

3 号、9 号烘缸轴承状态不太正常，需注意监护；10 号烘缸传动侧轴承振动强烈，近期必须考虑维护或更换；其他烘缸及辊子轴承状态良好。

3.3.2　纸张的缺陷检测技术和方法研究

纸张的缺陷（简称纸病）的检测不仅有利于纸张外观质量的提高，而且还可根据对纸病

出现的周期性、连续性、密度、和根源进行的分析，找到产生纸病的原因，进而采取相应的纠正措施，促进产品质量的提高。

纸的外观质量不仅直接影响成品的使用，而且影响到纸的其他物理性能指标，甚至还决定成品损耗情况。目前，只有一些先进国家开始借助仪器检测，大多数国家尚未使用仪器，只是检验者通过感官检测纸病。因此，研究和开发纸病检测技术和方法十分紧迫和必要。

纸页在生产过程中，由于设备磨损、生产原料或环境污染、操作等的问题会造成一些外观纸病，如尘埃、条痕、皱褶、孔洞和破边等。对于用来包装和印刷的高档纸及特种纸来说，这些外观纸病是影响其质量的主要因素之一。应用 Web Inspection System（纸页监测系统）进行纸病的在线检测，成为解决上述问题的必要手段。

纸页监测系统可用于检验斑点、孔洞、皱纹、裂口、条痕、鱼鳞斑等纸病。监测数据储存于电脑中用于产品质量管理。

（1）纸病检测技术工作原理

① 纸页纸样图像的获取。从生产现场采集有孔洞、条痕、皱褶等纸病的纸张，用光电扫描仪（清华紫光 Uniscan1236UT 平板式彩色扫描仪）将纸张图像扫入计算机，扫描参数设置为：300dpi，真彩色，图幅尺寸 1inch×1inch（1inch＝0.0254m），图像文件保存格式是 TIFF。纸样如图 3-10～图 3-12 所示。



图 3-10　1 号纸样的扫描图像

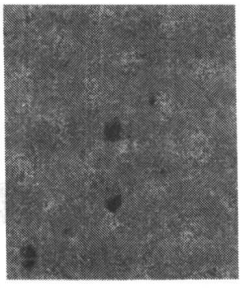


图 3-11　2 号纸样的扫描图像

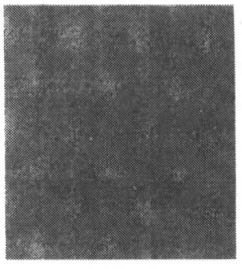


图 3-12　0 号纸样的扫描图像

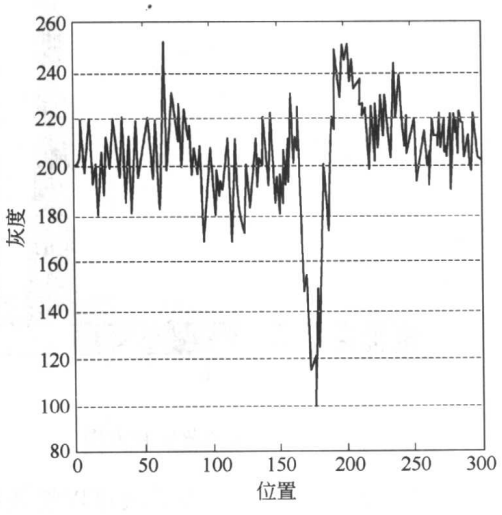


图 3-13　1 号纸样第 130 列的灰度曲线

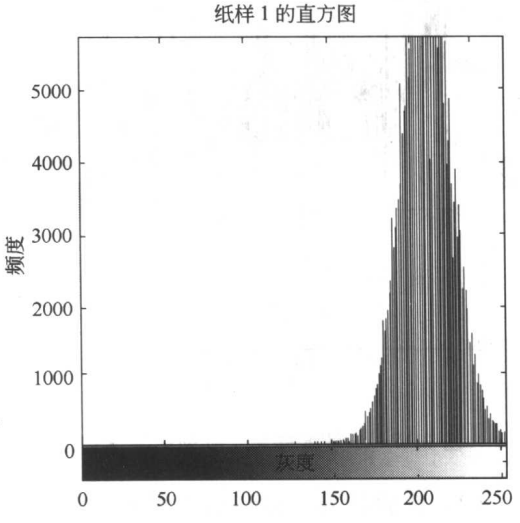


图 3-14　1 号纸样的灰度直方图

1 号、2 号纸样中有明显的孔洞、褶子、节斑、皱纹等纸病，且纸张黑白不均匀。0 号纸样是均匀性、白度较好的。

② 纸病图像的处理。首先将彩色图像 $A(r,g,b)$ 转换为灰色图像 B，转换公式为

$$B=0.31r+0.59g+0.1b \tag{3-63}$$

对于纸张的灰度，其数值是随机的，即各点的灰度数值各异且无规律可循。由图 3-13、图 3-15、图 3-17 可见其灰度分布的随机性。这是由于在造纸过程中，纤维的长短和分布是随机排布的，导致纸张的光学特性也具有随机性质。观察灰色图像 B 的灰度直方图（见图 3-14、图 3-16、图 3-18），可以看出，纸张上各点的灰度值介于 160～240 之间，对于不同的纸张，其灰度值的分布范围不同。

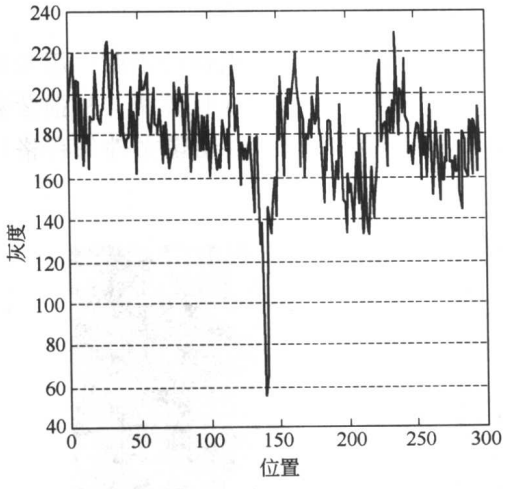


图 3-15　2 号纸样第 130 列的灰度曲线

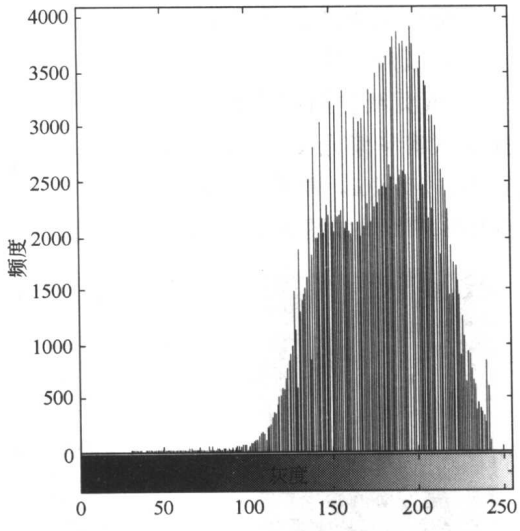


图 3-16　2 号纸样的灰度直方图

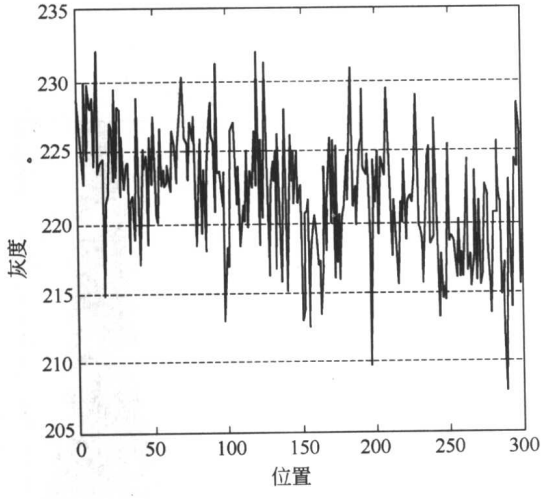


图 3-17　0 号纸样第 150 列的灰度曲线

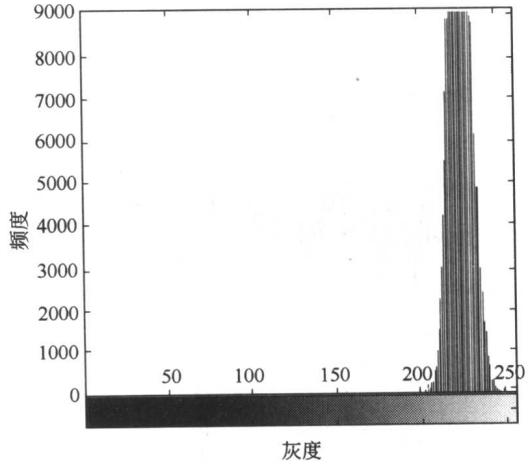


图 3-18　0 号纸样的灰度直方图

（2）实验结果　对于有孔洞的纸张，其孔洞的灰度值数值较低（＜160），故可以将灰度数值 160 作为检测纸张有无孔洞的阈值，灰度值低于阈值 160，系统就可以判定是纸张具有

孔洞纸病，根据尖峰的位置和数量，就可以确定孔洞纸病的位置并计算出孔洞纸病的尺寸大小。

结论如下。

① 灰度数值160作为检测纸张有无孔洞的阈值，灰度值低于阈值160，系统就可以判定是纸张具有孔洞纸病。

② 根据尖峰的位置和数量，就可以确定孔洞纸病的位置并计算出孔洞纸病的尺寸大小。

第 4 章　制浆造纸设备的前期管理

4.1　制浆造纸设备管理组织机构的设置

4.1.1　管理人员的配备和素质要求

4.1.1.1　管理人员的配备

(1) 管理人员配备的一般要求

① 设备动力管理人员的配备应按机构精简、人员精干的原则，定员应不低于全厂管理人员总数的 6%～8%。这里所说的设备管理人员应包括：设备工程管理部门的各类专业人员和管理人员，车间的专职机动人员。

② 设备管理人员中，技术人员应占总人数的 60%～80%。

③ 设备管理人员配备应与设备工程管理的需要相适应，其次考虑企业规模大小。

(2) 各类制浆造纸设备管理人员的配备数量　根据上面介绍的机械制造行业中某些企业设备管理典型组织机构的要求，制定出各类设备管理人员的配备数量，见表 4-1。

表 4-1　设备动力科（处）职能人员配备

序　号	职　称	小型企业		中型企业		大型企业	
		生产设备修理复杂系数总和 F					
		<3000		3000～10000		>10000	
		1500	3000	5000	10000	15000	25000
1	科(处)长	1～2	2～3	3	3～4	4	4～5
2	工段长(组长)				2～3	4～5	6～8
3	综合规划员	1～2	2～3	1～2	2	2～3	3～4
4	基建管理员			1～2	2	2～3	3～4
5	技改员			1～2	2	2～3	3～4
6	综合计划员	1	1	1～2	1～2	2～3	3～4
7	调度分配员		1	1	1～2	2～3	3～4
8	统计员	1	1	1	1～2	2～3	3～4
9	经济核算员			1	1～2	2～3	3～4
10	外协采购员			1	1～2	2	2～3
11	台账员	1	1	1～2	1	1～2	2
12	设备管理员				1～2	2～3	3～4
13	备件技术人员	1	1	1	1～2	1～2	2
14	润滑技术人员		1	1	1～2	1～2	2～3
15	定额员		3	1～2	1	1～2	2～3
16	工艺员				1～2	2～3	3～4
17	机械技术人员	2		3～5	6～9	10～12	12～14
18	电器技术人员		1	2	2～3	3～5	4～6
19	动力技术人员			1	2	2～3	3～4
20	描图员	1	1	1	2	2～3	3～4
21	资料员				1	1～2	2
	合计	9～11	15～17	22～30	35～50	51～71	70～91

4.1.1.2 维修人员的配备

设备维修人员是指从事专业设备修理和修护的全部工人。包括制浆造纸机修车间的大修理钳工、电工（包括电动机、电器、内外线路的修理）、动力设备维修工、零件钳工、管理修理工、润滑工、机加工和各车间的维修钳工、维修电工、动力维修工等全部维修人员。

目前机电、仪表行业的维修人员配备，是按企业生产工人总数的8%～15%的比例配备；制浆造纸行业一般按8%～12%比例配备。也可按全厂设备修理复杂系数的总和来计算，一般可参照1000个复杂系数配备20～35人的比例计算。

（1）维修人员的配备方法　维修人员的配备，通常取决设备修理工作量的大小。制浆造纸企业设备机械化、电气化、自动化的程度越高，所需的生产操作工人越少，而维修工人就要相应增加。因此，企业设备维修人员的配备可以根据企业设备维修工作量的大小来确定。一般的计算方法如下。

制浆造纸企业设备维修人员的总数为

$$H=H_1+H_2+H_3 \tag{4-1}$$

式中　H_1——企业设备维护所需的工人数，H_1＝企业拥有设备的总修理复杂系数×生产班次/维护定额（F/人）；

H_2——企业设备检修所需工人数，H_2＝企业计划年检修设备修理复杂系数的和/检修工人的年检修定额（F/人）；

H_3——企业设备维修服务所需的工人数。

H_3可根据各企业的规模大小及服务于设备维修的实际情况而定，通常为企业设备修理服务的工人有起重、搬运及铲刮工人和为维修服务的工人，如平板、直尺、铲刮的维护工人等。

（2）各类维修人员的配备　见表4-2。

表4-2　各类维修人员的配备

项　目	小型企业		中型企业		大型企业
	生产设备修理复杂系数总和F				
	＜3000		3000～10000		＞1000
	＜1500	3000	4500	7500	18000
维修工人占生产工人数/%	5%～8%	6%～8%	8%～12%	＞12%	12%～15%
主要机加工(包括零件钳工)	6～8	8～16	16～24	24～48	48～100
电修工	5～8	8～16	16～24	24～46	46～100
大修理钳工	6～8	8～16	16～24	24～46	46～90
动能修理工(包括管道修理工)	4～6	6～12	12～18	18～30	30～70
车间维修工(包括维修钳工、动能工)	8～12	12～24	24～36	36～70	70～140
润滑工	1	1～3	3～4	4～8	8～15
合计	20～43	43～87	87～130	130～248	248～515
维修用设备台数	11	22	33	55	55～130

4.1.2 设备维修的组织形式

设备维修组织形式，一般有三种类型。

（1）集中维修　全厂的设备维修工作，统一由设备动力科直接领导下的维修组负责，生产车间不设维修组，即全厂的维修力量在行政和业务上统一由设备动力科领导。这种形式适

用于企业规模不大、设备数量不多、设备修理复杂系数在3000以下的小型企业。

① 集中维修的优点

a. 可以集中使用维修力量，充分发挥维修人员的作用，有利于采用先进的修理工艺，便于维修人员的专业分工。

b. 有利于掌握检修的第一手资料和安排好备品配件的供应计划。便于进行改善性维修，以提高维修质量、缩短修理时间、降低维修费用。

c. 设备动力科能够直接、全面地掌握车间设备的使用情况和事故情况，以便采取措施，加强设备管理工作。

② 集中维修的缺点

a. 设备动力部门任务繁重、工作量大，容易造成设备不能及时修理，而影响生产。

b. 维修和生产不能紧密配合，生产车间对维修无支配权，生产与维修会产生矛盾。

c. 在一定情况下，维修人员可能被厂部拉去突击生产或作他用等，这样容易产生挤掉维修的现象。

(2) 分散维修　全厂的设备维修工作都由生产车间的维修工段（组）负责，各车间维修组行政上都由本单位领导，业务上受设备动力科指导，机修部门（分厂）只担负备件制造和车间不承担的精密、大型、稀有、自动化程度很高的设备的大修任务。这种形式适用于规模大、设备较多、车间分散、设备修理复杂系数总数在15000以上的大型企业。

① 分散维修的优点

a. 有利于发挥各生产车间对设备管理维修工作的积极性和主动性。

b. 由于维修工人固定在生产车间，解决问题及时，做到了维修能紧密的配合生产工作。

c. 维修工人对本车间设备状况熟悉，修理针对性强。

② 分散维修的缺点

a. 维修人员调动权归车间，容易出现维修力量被挪用于生产的现象。

b. 占用维修力量较多，不能集中使用，不利于维修人员进行专业分工，修理费用较高。

c. 由于修理任务不平衡，容易造成各车间维修人员忙闲不均的现象。

d. 设备动力部门不能直接掌握车间故障和事故情况，容易出现漏报现象，车间的信息不能及时反映。

(3) 混合维修　设备的大修（包括精、大、稀设备的维修）和备件制造由机修车间承担，其余所有维修工作均在设备科的业务指导下由生产车间的维修工段（组）负责。是一种既有集中又有分散的维修形式，兼有上述两种组织形式的优点。它适用于修理复杂系数总数约在4000～15000之间的中型企业，目前我国多数采用这种形式。

① 混合维修的优点

a. 加强了生产车间对设备管理和维修工作的责任感。由于维修工人固定在车间，行政上归车间领导，车间设备出了问题能及时调配维修力量，迅速解决问题，因而对生产有利。

b. 由于机修车间负责全厂备件制造和设备大修理任务，有利于集中力量提高大修质量，减少停机时间和修理费用。

② 混合维修的缺点

a. 在大修质量和备件供应方面容易出现意见分歧，产生扯皮现象。

b. 设备管理部门不能直接掌握维修的第一手资料，对管理工作仍有一定影响。

c. 维修人员调动权归车间，容易出现维修力量被挪用或不稳定现象。为此，必须加强对车间维修组的业务指导，建立定期检查、评比、考核制度，并结合经济责任制予以奖惩。

4.2 制浆造纸设备的规划与选型

(1) 设备规划

① 设备规划的依据。包括生产发展的要求、设备改造的要求、节能增容的要求、安全环保的要求、可能筹集到的资金。

② 设备规划的要求。包括生产性、可靠性、维修性、经济性、节能性、环保性、美学性、工效学特性。

(2) 设备选型与购置

① 设备选型与购置应考虑的问题。包括质量、价格、节能、生产率、交货期、标准化程度、技术经济效果、可靠性、维修性、操作技术要求和人机工程、制造厂家的信用和售后服务、劳动保护、技术安全与环保要求。

② 设备选型与购置的步骤见表 4-3。

表 4-3 设备选型与购置的步骤

1	广泛收集设备市场货源信息	3	选型、择厂具体了解协商
2	与制造厂和用户厂联系、询问了解	4	决策、签订合同

(3) 制浆造纸设备入库检查及验收 制浆造纸设备到货后应按合同和装箱单及时开箱检查并验收入库。开箱检查的内容有包装箱（包括内包装塑料袋）是否有损坏的地方。到货的

表 4-4 制浆造纸设备移交生产鉴定验收单

<table>
<tr><td>设备名称</td><td colspan="2"></td><td>型 号</td><td colspan="2"></td><td>规 格</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>制造单位</td><td colspan="2"></td><td>制造年份</td><td colspan="2"></td><td>体积</td><td colspan="2">长 宽 高</td></tr>
<tr><td rowspan="2">精度及工艺性能</td><td colspan="5" rowspan="2"></td><td>质量</td><td colspan="2">公斤</td></tr>
<tr><td>资产值</td><td colspan="2">千元</td></tr>
<tr><td rowspan="5">附属设备及附件、工具</td><td>名 称</td><td>型 号</td><td>规 格</td><td>数 量</td><td>名 称</td><td>型 号</td><td>规 格</td><td>数 量</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="9">经过 个月试生产的实践验证，设计制造合理可靠，技术性能达到和符合设计、工艺要求，生产稳定适用。</td></tr>
<tr><td>技术资料</td><td colspan="8"></td></tr>
<tr><td>技术鉴定记录</td><td colspan="8"></td></tr>
<tr><td>鉴定验收结论</td><td colspan="8">年 月 日</td></tr>
<tr><td colspan="9">签证：
厂意见 接受部门(使用部门) 鉴定部门(设备动力部门) 移交部门</td></tr>
<tr><td colspan="9">主管领导： 负责人： 负责人： 负责人：</td></tr>
</table>

注：本表填写一式三份，接受部门、财务科、设备动力部门各一份。

设备型号、规格、附件等应与合同相符。按部件、零件装箱是否与装箱单相符。检查零部件是否有锈蚀、损坏现象。随机技术文件是否齐全。

开箱检查时要对照装箱单，逐件清点，做好记录。如发现损坏、锈蚀、零部件短缺等问题，应以照相或其他方法做好详细记录，作为向制造厂或有关部门交涉索赔的依据。

对国外进口制浆造纸设备开箱检查时，应通过国家商品检验部门派人参加，如发现质量问题或数量短缺等，由国家商品检验部门出证，通过贸易渠道进行交涉索赔。我国外贸部门与外商签约时，一般规定为：开箱检验可以发现的质量问题，必须在货物到达中国港口后三个月内由国家商品检验部门出证后提出索赔；对必须通过安装、试车方能发现的问题，在货物到达中国港口后一年内提出索赔。可见对引进国外设备必须及时开箱检验和安装试车。

制浆造纸设备开箱检验后，如不能随即开始安装，应重新包装好，并做好防锈、防潮工作。设备开箱检验完毕验收入库后，应及时通知企业规划、工艺、设备管理和安装部门，随机技术文件应按企业有关规定及时办理入档，并填写设备移交生产鉴定验收单（见表 4-4）。

4.3 设备的分类、编号和建档

（1）设备的分类　设备有许多种分类方法，如按用途、按生产中所起作用的程度、按复杂系数、按工作类型、按设备本身技术特性、按管理权限分类等。

① 按用途分类

直接生产设备是指直接参与企业生产工艺活动的设备。

非直接生产设备是指虽非直接参与生产工艺活动，但间接为完成生产任务服务的设备。如运输、机修等设备。

非生产设备是指企业中行政部门、生活福利部门和基础建设部门所管辖和使用的设备。如生活用蒸汽锅炉、医疗用机械设备等。

② 按生产中所起作用程度分类

关键设备指在生产中起主导、关键作用的设备，如一旦故障，就会严重影响工厂的生产与安全，约占全厂设备总数 5%～10%。

主要设备指工厂生产中起主要作用的设备，对全厂生产与安全的威胁比关键设备要小，约占全厂设备总数 10%～15%。

一般设备指数量众多，结构简单，维修方便或有备用的设备等。

上述设备分类应该因不同类型不同规模的工厂而不相同。同样一台设备在小厂是关键设备，在大厂也可能是一般设备，如一台蒸汽锅炉，甲厂可做关键设备，在乙厂恰恰是辅助性的一般设备。

③ 按管理权限来分类（即部控、局控设备）。各级主管部门为了加强对重点设备的控制和促进企业对重点设备重视与管理，还规定了部级控制与局级控制的设备，如原轻工业部就有“部管设备”。

（2）设备的编号　设备编号的方法应力求科学、直观、简便、有利于统一管理，又可减少文件说明、提高工作效率，对于运用电子计算机来汇总、存储设备技术档案等是一项很重要基础工作。

制浆造纸设备编号的方法亦有统一的规定，见表 4-5。

表 4-5　制浆设备的编号方法

行业属性	编号	设　备　名　称	行业属性	编号	设　备　名　称
Z 制浆造纸专业设备	1	备料设备	T 通用设备	1	工业泵
	2	制浆设备		2	风机
	3	洗浆设备		3	压缩机、冷冻机
	4	筛选设备		4	起重、搬运机械
	5	漂白设备		5	采暖、通风、热交换设备
	6	打浆设备		6	工程机械
	7	造纸设备		7	金属切削机床
	8	完成设备		8	锻压机械及热处理设备
	9	造纸专业通用设备		9	铸造设备
	10	加工纸设备		10	焊接机及充电设备
	11	药液制备设备		11	其他机械设备
	12	酸碱回收设备	Q 其他专业设备	1	木工、林业机械
	13	副产品回收设备		2	橡胶设备
	14	造纸专业其他设备		3	印刷设备
D 动力设备	1	设备		4	水处理设备
	2	电气设备			

（3）设备的建帐立卡　设备分为固定资产与非固定资产两种，所以设备的建帐立卡应同时考虑设备管理与固定资产管理的双重任务。尤其是连续生产的流程工业和动力工业，每台设备都与生产、效益紧密关联。所以设备管理部门的管理对象应该是“设备”，而不仅仅是属于固定资产的设备。制浆造纸机械动力设备台账见表 4-6。

表 4-6　制浆造纸机械动力设备台账

企业名称　　登记日期　　年　月　日

设备名称		制造国家	
外文名称		制造厂名	
设备编号		制造年月	
固定资产编号		开始使用日期	
规格		设备质量	
型号		原始价值	
复杂系数	机：　　电：	外形尺寸	长　宽　高

生产能力

名　称	单　位	公称能力	实际能力	变更年月	备　注

主要技术特征

续表

传动方式：

需要功率：　　实际功率：

安装地点：

拖动设备

编　号	名　称	型　式	容　量	转　速	备　注

附带工具			主要附属设备及零件登记					
名　称	单　位	数　量	编号	名称	规格型号	单位	数量	备注

性能变更记录

移动记录

日　期	文件号码	调出地点	调入地点	备　注

(4) 建立设备的技术管理档案　设备的技术档案是关系到设备一生的技术文件，它是既记录设备的检修、变革、故障与事故，也总结指导管理好设备的技术文件。企业单位应按不同要求（按复杂系数或按主要生产设备以上）确定建立设备的技术档案。

4.4　制浆造纸设备的安装、验收及使用初期管理

4.4.1　安装和验收管理

4.4.1.1　安装工程计划的编制

(1) 编制安装计划的依据

① 制浆造纸工厂设备规划。包括技改计划的设备部分、设备更新规划、设备技术改造计划、工厂工艺布置调整方案等。

② 安装人员数量、技术等级和实际技术水平。

③ 安装材料消耗定额、储备及订货情况。

④ 安装费用标准、安装工时定额（参照原机械工业部安装总公司的《安装工时、费用与材料消耗定额手册》）。

(2) 计划编制及安装费用预算

① 根据制浆造纸工厂设备规划、外购设备订货合同的交货期、自制设备的计划进度等编制安装计划。

② 根据安装计划估计概算工时、人员需用量和安装材料需用量，并做出费用预算。

③ 根据安装计划与使用部门和有关部门协调工程进度。

④ 根据安装计划提出外包工程项目、技术要求及费用预算（或审核承包单位提出的

预算）。

⑤ 根据设备库存和实际到货情况等按季、月编制安装工程进度表（复杂工程可采用网络图法安排各阶段的日程、人员、器具、材料及费用预算）。施工图纸和技术要求在预计开工日期之前一个月，下达给施工和使用部门作施工的准备。

4.4.1.2 安装计划的实施

① 制浆造纸设备管理部门提出安装工程计划及安装作业进度表，各环节的衔接按照设备安装工作程序执行，并以安装工程派工单来实现。

② 根据设备的入库、出库、移装等有关规定来办理设备出库使用手续。

③ 工艺技术部门负责提供安装平面位置图；设备管理部门负责提供基础图纸及施工技术要求；动力管理部门负责动力配套线路、水和气等管网图及施工技术要求；修建部门负责基础施工；设备管理部门负责安排技术人员及基础设计人员，负责安装技术指导，并有责任对现场施工质量提出意见。

④ 设备安装部门负责安装工程的组织和协调工作，并具体实施设备搬运、上位找平，配电及配水、气管路等工作（配管路或配电工作由动力部门实施）。安装质量的验收由安装部门提出，并会同设备部门（或调试单位）和使用部门共同进行。

⑤ 一般设备的调试工作（包括清洗、检查、调整、试车），原则上由使用部门组织进行；精、大、稀、关设备及特殊情况下调试由设备管理部门与工艺技术部门协同组织进行；自制设备由制造单位调试，设计、工艺、设备、使用部门参加。

⑥ 设备调试的辅助材料（包括油料、清洗剂、擦拭材料等）费用可在设备安装费专项内支付，一般零星安装项目可在生产费用中摊销。

⑦ 设备安装计划的执行情况，由设备管理部门会同生产部门进行检查。

4.4.1.3 安装的施工管理

① 首先抓好设备基础的施工。在基础混凝土达到一定强度后，检查基础各部分尺寸是否与设计图纸相符。如发现地脚孔距离或标高误差过大及其他施工错误，应尽快采取补救措施。设备基础达到设计要求强度后，须由专业检查人员及安装小组代表共同检查确认合格后签字验收。

② 按照安装程序对零部件必须彻底清洗和仔细检查，确认未发现任何问题方可进行安装。设备的基础零件如机架、立柱等经预调后，在浇灌地脚孔混凝土时，应灌满、捣实并防止地脚螺栓垫及垫铁歪斜，最好采用快干膨胀水泥拌和混凝土来浇灌地脚孔，既可以保证质量，又可以缩短工期。国外大量采用一种 Embeco 快干微量膨胀水泥制成的拌和材料，不但使用方便，而且可以保证机体、垫铁、基础三者有良好的接触刚度，对保证设备安装精度的稳定性效果显著。

③ 严格按安装、试车程序进行安装和试车。程序完成经检验合格后方可进行下一程序。对于负荷试车及精度检验，如因故中止较长时间设备本身的温度或环境温度发生变化，一般情形应按规定重新进行。

④ 在安装试车过程中如发现设计制造质量缺陷，应仔细做好记录并通知制造厂。对一般不影响设计性能、精度、使用寿命的设计制造质量问题，企业可以采取补救措施解决者，应抓紧解决。对严重的质量问题，应通知制造厂迅速派人到用户工厂协商处理并提出索赔。对国外设备发现质量问题，应请国家商品检验部门派人检查出证，作为索赔的依据。

4.4.1.4 安装工程的验收

① 设备基础的施工验收由修建部的质量检查员会同土建施工员进行验收，填写施工验收单。基础的施工质量必须符合基础图和技术要求，参见建筑工程部制定的《设备安装基础施工规范》。

② 设备安装工程的最后验收在设备调试合格后进行，由设备管理部门、工艺技术部门协同组织安装部门、检查部门、使用部门等有关人员参加共同做出鉴定，填写有关施工质量、精度检验、试车运转记录等凭证和验收移交单，设备管理部门和使用部门签字方可竣工。

③ 设备安装工程验收移交单的一联转给设备管理部门；一联转给财务部门，作为列入固定资产的凭证；一联转给生产部门，作为考核安装工程计划完成情况的依据。

4.4.1.5 安装工程的费用管理

① 设备安装工程的季、月进度表，对每一项设备安装任务给予编号，作为派工号。与安装工程有关的劳务费和器具、材料费用等均计入此工号，以核算安装成本。设备所发生的安装费用，均计入各专项费用（如技改、更新等），分别由修建、设备、动力等部门汇总报财务部门核算。零星移装设备所发生的搬迁、清理和安装费用，可由生产费摊销。

② 设备安装部门应协同计划和财务部门监督安装工程费用的使用，定期进行分析和审查，严格控制安装计划（包括安装质量、安装工程成本以及安装进度）的全面完成。

4.4.2 制浆造纸设备的初期管理

设备使用初期管理是指设备经安装试运转后投入使用到稳定生产的这一段时间的管理工作，一般为半年左右。

根据设备故障的典型曲线（澡盆曲线），新设备在使用初期往往出现较多的故障，这些故障大多由于设备的设计和制造缺陷所造成的，也有的故障是由于安装质量不良。

(1) 设备初期管理的目的

① 及时排除故障，使设备尽快达到稳定生产。

② 验证所购买的新设备是否达到预期的技术、经济效果。

③ 验证安装工程质量。

④ 把设备的技术、经济信息反馈给设计、制造单位，以利于改进质量。

(2) 设备初期管理的主要工作

① 观察和记录产品质量、生产效率、设备性能的稳定性和可靠性。

② 加强检查，发现设备初期的故障并及时排除，认真做好记录（如故障次数、故障部位、故障原因等）和分析。

③ 按说明书规定，清洗和更换润滑、液压系统用油及其他工作介质。

④ 定期对设备进行紧固和调整。

⑤ 评价设备质量和工程质量。

⑥ 向设计、制造单位进行信息反馈。

4.5 制浆造纸企业的前期管理工作实例

(1) 某制浆造纸企业设备前期管理的总结评价方法

① 由企业的规划、工艺、设备管理、使用部门的专家各一人组成评价小组。

② 评价内容及等级划分，见表 4-7。

表 4-7　设备前期管理总结评价内容

评价内容	综合评价加权系数	评价等级		
		良(>80 分)	合格(60～80 分)	不合格(<60 分)
F_1 产品质量	0.4	充分满足要求	满足要求	不能满足要求
F_2 产品产量	0.3	充分满足要求	满足要求	不能满足要求
F_3 可靠性	0.15	良	可	差
F_4 安全及耗能	0.1	良	可	差
F_5 操作性	0.05	良	可	差

③ 评价前的工作。要认真查阅选型时的可行性分析报告、安装验收记录、使用初期产品质量、生产效率、设备故障修理等记录，认真听取使用和维修人员的评价意见。

④ 由评价小组成员分别评分，评分时不互相交换意见或讨论。

⑤ 综合评价分数。评价分数的计算式如下

$$S=\frac{1}{4}[0.4\sum F_1+0.3\sum F_2+0.15\sum F_3+0.1\sum F_4+0.05\sum F_5] \tag{4-2}$$

$S>80$，为良；$60<S<80$，为合格；$S<60$，为不合格。

如$\frac{1}{4}\sum F_1<60$或$\frac{1}{4}\sum F_2<60$均为不合格。最高评分为 100 分，评价结果中应指出存在的问题和改进意见。

(2) 根据蒸煮设备的综合效益评价纸厂设备的前期管理　制浆造纸厂制浆时所用的蒸煮设备有连续蒸煮器、蒸煮立锅和蒸球三种。其中，连续蒸煮器（简称连蒸器）是较为先进的蒸煮设备，目前世界上大型连蒸器的生产能力已超过 1000t/d，并已实现了蒸煮过程的计算机自动控制，达到了较高的劳动生产率，在国外制浆造纸企业中已占蒸煮设备的主导地位。

蒸煮立锅是传统的较大的蒸煮设备，是我国大型造纸厂常用的蒸煮设备；而我国绝大多数中小纸厂都使用结构简单、运行可靠、操作方便的蒸球来蒸煮浆料。20 世纪 80 年代中期，国内一些中型纸厂设置了国产或进口的小型连蒸器以取代传统的蒸球，有关领导部门也提倡在非木材原料制浆中推广横管式连蒸器及热磨技术。但是，通过调查发现，国内一些设置了连蒸器的纸厂，在连蒸器的管理和使用中存在着维持费用高、设备可靠性低和综合效益差的问题，给这些纸厂带来了沉重的经济负担。

1986～1988 年期间，河南孟县纸厂、山东滨州纸厂等厂分别设置了天津轻工机械厂制造的 ZJL3 型 20m² 横管连蒸器，设计生产能力为 50t/d；山东德州纸厂、河南焦作纸厂也分别从瑞典引进了生产能力为 75t/d 和 50t/d 的横管式连蒸器。孟县纸厂和滨州纸厂的连蒸器设置费用约 300 万～400 万元；焦作纸厂和德州纸厂的连蒸器设置费用约为 1000 万～1400 万元。而相同生产能力的蒸球设置费用仅为连蒸器的 1/5～1/15，且基建工期也较连蒸器短。这四家纸厂中除孟县纸厂的连蒸器在亏损情况下还坚持运行外，其余三家纸厂的连蒸器都在不到一年的试运行后即停止了运行，使花了巨大投资的设备处于闲置状态。然而，许多以蒸球为蒸煮设备的纸厂和车间却保持着正常运行并取得了较好的效益。

由于孟县纸厂拥有连续蒸煮器和蒸球这两种蒸煮设备，且一直运行并积累了较完整的有关资料和原始数据，故可以据此探讨造成两种蒸煮设备综合经济效益巨大差距的原因。

① 小型连续蒸煮器存在的问题

a. 实际生产能力低。孟县纸厂 ZJL3 型 20m² 横管式连蒸器原设计能力为 50t/d 亚铵法棉秆半化学浆，投产后因棉秆原料缺乏，改用麦草为主要原料。由于麦草的密度小于棉秆，且根据实际操作经验，蒸煮时间不得小于 50min，故蒸煮亚铵法麦草半化学浆时的实际生产能力仅为 25t/d，即使以密度大的棉秆为原料，生产能力也低于 40t/d。

b. 设备故障频繁，利用率低。孟县纸厂的连蒸器 1991 年 4 月份～5 月份运行工时统计见表 4-8。由表中数据可知，连蒸器因各种故障而造成的工时损失在 4 月份～5 月份分别占全月制度工作时间的 13.7%和 17.3%，其中还未计入因停电、供汽不足、停水、断原料等原因而停机时所进行的维修保养和改造时间。孟县纸厂的连蒸器在运行中发现其料仓、埋刮扳运输机、螺旋进料器、防喷止逆阀、翼式出料器、热磨机、喷放管弯头等部位经常出现故障，常需停机抢修，且主要备件（如进料螺旋）耐磨性差，使用寿命仅为 7～12 天，导致设备利用率低。又因抢修和更换备件时往往需放空连蒸器内的大量蒸汽，使吨浆耗汽量上升。由于连蒸器的主要备件价格昂贵，且维修所需人员和工时也较多，故维修费用也较高。

表 4-8　孟县纸厂的连续蒸煮器运行工时统计（1991 年 4 月份～5 月份）

项　目	4 月份		5 月份		项　目	4 月份		5 月份	
	2 时/h	占总时间/%	2 时/h	占总时间/%		2 时/h	占总时间/%	2 时/h	占总时间/%
正常运行	314.33	43.7	286.42	39.8	断原料	27.17	3.8	56.50	7.8
供气不足	192.58	26.8	156.58	21.8	浆满停机	26.33	3.7	8.75	1.2
停电	60.92	8.5	78.33	10.9	停水			8.67	1.2
故障停机	98.67	13.7	124.75	17.3					

c. 基建投资大，生产成本高，经济效益差。孟县纸厂连蒸器所生产的麦草半化学浆（用作牛皮箱纸板底浆）和蒸球所生产的麦草半化学浆（用于生产高强瓦楞原纸）的质量要求基本相同，又在同一企业内，各方面的经营管理条件和技术水平也基本相同，故可对这两种蒸煮设备进行费用效益分析。

② 连续蒸煮器与蒸球的费用效益分析。孟县纸厂三车间连蒸器工段与三车间蒸球工段的生产能力相近，但连蒸器基建投资约为 300 余万元，而蒸球基建投资为 50 余万元，仅为连蒸器的 1/5～1/6。连蒸工段的生产管理人员为 77 人，而蒸球工段为 52 人，比连蒸工段少用约 32.5%。再加上连蒸器的原料和辅料消耗量大，能耗和维修费用高，使得连蒸器的吨浆生产成本比蒸球的吨浆生产成本高出 33.1%，1991 年两者的吨浆生产成本对比见表 4-9。

表 4-9　孟县纸厂连续蒸煮器与蒸球的生产成本对比（1991 年）

消耗项目	单价/(元/t)	连续蒸煮器		蒸　球	
		用量	费用/元	用量	费用/元
麦草	108	2.1t	226.80	2.1t	226.80
烧碱	2000	0.147t	294.00	0.105t	210.00
电耗	0.264	324 度①	85.54	136.8 度	36.12
汽耗	18	4t	72.00	2.7t	48.60
设备消耗			27.30		10.00
工资			25.00		17.00
合计			730.34		548.52

① 1 度＝1kW·h。

现从这两种蒸煮设备的年费来考察它们的经济效益。孟县纸厂的连蒸器和蒸球的年产浆量约为7000t，设两种设备的使用限均为15年，且15年后连蒸器的残值为30万元，蒸球残值为5万元（5台25m³蒸球），银行贷款利率以8%计，则

连蒸器的年维持费　730.34×7000=511.24（万元）

蒸球的年维持费　548.52×7000=383.96（万元）

年费计算公式　$R=(P-O)(P-R)_n^i+L+O\cdot i$　　(4-3)

式中　P为设备一次性投资费用；O为设备残值；i为银行贷款利率；n为设备使用年限；L为设备的年维持费。

由此可得连蒸器和蒸球的年费分别为

$$\begin{aligned}R_{连蒸}&=(300-30)(P\rightarrow R)_{15}^{8\%}+511.24+30\times 8\%\\&=270\times 0.11683+511.24+2.4\\&=545.18(万元)\\R_{蒸球}&=(50-5)(P\rightarrow R)_{15}^{8\%}+383.96+5\times 8\%\\&=45\times 0.11683+383.96+0.4\\&=389.62(万元)\\\Delta R&=R_{连蒸}-R_{蒸球}=155.56(万元)\end{aligned}$$

由此可见，在产量相近的前提下，使用连蒸器的年费约比使用蒸球要高出150万元左右。

从孟县纸厂的实际情况看，使用连蒸器蒸煮、生产牛皮箱纸板的三车间每月亏损约13万元；而使用蒸球蒸煮、生产高强瓦楞原纸的二车间，虽产品销售情况还不如三车间，但每月盈利仍达10万元。差别的主要原因之一是连蒸器的经济效益远低于蒸球。所以，某些纸厂宁愿再设置蒸球而将已有的连蒸器闲置起来。

综上所述可知。

① 由于我国目前存在的大量草浆厂在生产规模上受原料运输等条件的限制，难以达到连蒸器的经济经营规模，且连蒸器设置费用高，可靠性也有待改进，故其经济效益与传统的蒸球相比还有相当大的差距。因此，纸厂应加强设备的前期管理，在设备规划的选型阶段进行周密的技术经济分析，避免因盲目追求先进设备而使企业陷于困境。

② 连蒸设备的生产厂家应加强与使用厂家的信息交流，研制出可靠性和维修性均较高的连蒸设备，并根据我国的具体情况，探索连蒸器的经济合理的经营规模。同时，要加强对连蒸器的运行管理和使用维护方面的研究与培训，使先进的连蒸器能为制浆造纸企业创造良好的经济效益。

第 5 章　制浆造纸设备的中期管理

5.1　制浆造纸设备的使用守则和规程

制浆造纸设备的正确使用和精心维护可以保持和改善设备的良好技术状态，避免突发性故障，从而提高设备的使用效率，延长使用寿命。

正确使用、精心维护设备是设备管理工作中至关重要的一环。

设备的合理使用要求，一般包括如下几点。

(1) 应该根据企业的生产特点和生产任务合理地配备各种设备　各企业的生产技术要求及生产组织形式各不相同。因此，在配备设备时，必须根据企业的生产特点，经济合理地为各车间、班组配备好各种设备。同时，又必须根据各种设备的性能和特点，合理地安排加工任务，避免“大机小用”、“精机粗用”以及超负荷运转等现象。而且，还应随着生产任务和工艺技术的变化，及时地调整设备，使各种设备的性能与加工对象的工艺要求及生产任务相适应。

(2) 合理地配备操作工人　任何机器设备都是在工人的操作和控制下进行的，而工人的操作水平和思想觉悟水平直接影响到能否管好、用好机器设备。因此，为了能使设备保证在最优状态下运转使用，必须合理地配备相适合的操作工人。新工人一定要经过培训和考试合格后才能允许独立操作。对于大型、精密、稀有、关键设备，应指定专人操作，实行定人定机，并严格执行凭证操作制度。

① 凭证操作。操作者在独立使用设备前，必须接受技术基础理论的教育和实际操作技能培训，设备操作考试合格，并领得设备操作证，方可独立操作设备。精、大、稀和重点设备由企业设备动力部门主考，其他设备由使用部门分管的主任主考。操作证均由企业设备动力部门签发。一般地，操作证中只填写一种型号设备。对技术熟练工人经教育培训考试合格后，可取得一种以上设备的操作证。

② 定人定机。设备使用定人定机，严格实行岗位责任制，以达到正确使用设备的目的。并将维护工作落实到操作者。设备岗位责任制要规定操作工人的基本职责、基本权利、应知应会的基本要求和考核奖励办法。公用设备应落实维护人员，明确维护责任。多人操作的设备实行机台长制，由机台长负责设备的使用和维护责任。

为了保证设备的合理使用，有的制浆造纸企业实行了三定户口化制度（即设备定号、管理定户、保管定人）。这三定中设备定号、保管定人易于理解；管理定户就是以班、组为单位，把全班的设备编为一个“户”，班组长就是“户主”，要求“户主”对小组全部设备的保管、使用和维护保养负全面责任。

(3) 建立和健全设备使用的责任制及其规章制度　连续生产的设备或不允许中途停机者，可在运行中交班，交班人需把设备运行中发现的问题详细记录在交班记录本上，并主动向接班人介绍设备运行情况，双方当面检查，交接完毕，在记录本上签字。企业在用的每台设备，均须有“交接班记录本”，不准撕毁、涂改。区域维修站应及时收集“交接班记录本”，从中分析设备现状，采取措施改进维修工作。

设备管理部门和车间负责人应注意抽查交接制度的执行情况。

(4) 为设备创造良好的工作环境和工作条件

① 必须有一个适宜的工作场地，整洁、宽敞、明亮的工作环境。

② 配备必要的保护、安全、防潮的装置，有些设备还要配备降温、保暖、通风等装置。

③ 配备必要的测量、控制和保险用的仪表仪器等装置。

④ 对于某些高、精、尖的机器设备，必须配备特殊的工作场地，符合包括温度、湿度、防尘、防震、防腐蚀等特殊要求的工作条件。

⑤ 建立润滑管理体系是合理使用和保护设备的重要环节。如果机器设备在使用过程中不及时地添加润滑油，就会使机件加速磨损以致损坏报废。因此，及时润滑设备，可以减少磨损，延长设备寿命，并保证生产的顺利进行。

⑥ 开展完好设备的竞赛活动是动员广大职工用好、管好设备的有效形式。所谓完好设备，是指零件、部件和各种装置完整齐全、油路畅通、润滑正常、内外清洁，性能和运转状况均符合标准的设备。通过评比检查，做到赏罚分明，列入计奖条件，并总结和推广先进经验。对于带病运转设备，应查明原因，提出改进措施，以提高设备的完好程度。

5.1.1 制浆造纸设备使用守则

这是指对操作者正确使用设备的各项基本要求和规定。包括："四项要求"、"五项纪律"、"三好"、"四会"等内容，是工人必须严格遵守的制度和准则。

(1) 使用设备的"四项要求"

① 整齐。工具、工件、附件摆放整齐，安全防护装置齐全，线路管道完整。

② 清洁。设备内外清洁，各滑动面、丝杠、齿条、齿轮等无油垢、无碰伤，各部位不漏水、不漏油，切屑、垃圾清扫干净。

③ 润滑。按时加油、换油，油质符合要求，油壶、油枪、油杯齐全，油毡、油线、油标清洁，油路畅通。

④ 安全。实行定人定机和交接班制度，遵守操作规程，合理使用，监测异常，不出事故。

(2) 使用设备的"五项纪律"

① 凭操作证使用设备，遵守安全操作规程。

② 经常保持设备清洁，并按规定加油。

③ 遵守设备交接班制度。

④ 管理好工具、附件，不得遗失。

⑤ 发现异常立即停车，自己不能处理的问题应及时通知有关人员检查处理。

(3) 设备维修的"三好"要求

① 管好设备。设备有专人保管，未经批准，不能使用和改动设备。

② 用好设备。认真贯彻操作规程，不超负荷使用设备。

③ 修好设备。操作工人要配合维修工人及时排除设备故障。

(4) 设备维修的"四会"要求

① 会使用。操作者要学习设备操作规程，经过实习，取得操作合格证后方能独立操作。

② 会维护。学习和执行维护、润滑规定，保持设备清洁、完好。

③ 会检查。了解设备结构、性能和易损零部件，懂得设备的正常与异常的基本知识，协同维修工进行检查并找出问题。

④ 会排除故障。熟悉设备特点，懂得拆装注意事项，会做一般的调整，协同维修工人排除故障。

5.1.2 设备操作规程

设备操作规程是指导工人正确使用和操作设备的基本文件之一，包括设备的主要规格、加工范围、传动系统图、润滑图表、操作要领以及定期维护等内容。可按同类或单台设备制定，每个设备操作者必须熟悉并严格遵守。设备操作规程应力求内容简明，属于“三好”、“四会”规定的内容不再列入，也应力求内容实用，按顺序将工作前、中、后的项目归纳排列在一起。对于各类设备应共同遵守的项目可统一成标准的项目。这是制定设备操作规程的原则。

5.2 设备的维护保养

设备维护保养是涉及设备管、用、养、修等各项工作的基础，也是操作工人的主要责任之一，是保持设备经常处于完好状态的重要手段。因此，必须强制进行，并严格督促检查。车间设备员和机修站都应把工作重点放在维护保养上，要强调“预防为主、养为基础”。

(1) 三级保养制度

① 日常维护保养（日保）制。也称例保。即每天由操作者照例要进行的保养。要求操作者每班必须做到：班前对设备进行检查、润滑；班中严格操作规程；下班前 15～20min（周末适当延长）对设备进行认真的清扫擦拭，将设备状况记录在交接班记录本上。日保是维护保养工作的基础，是一项积极的预防措施，是操作工人分内的一项经常性工作，具有与完成生产任务一样的重要意义。日保的目的是保证设备达到整齐清洁、润滑、安全、预防事故和故障的发生。

② 一级保养（一保）制。以操作工人为主，维修工人辅导进行。这是一项计划性维护保养工作，也可叫定期保养（定保）。要求按计划对设备进行局部和重点部位拆卸、检查，彻底清洗外表和“内脏”，疏通油路，清洗或更换油毡、油线、滤油器。检查磨损情况，调整各部配合间隙，紧固各部位。达到脱黄袍、清“内脏”，油路通、油窗亮、操作灵活、运转正常。电气部分的保养工作由维修电工负责。一保完成后应做记录并注意尚未清除的缺陷，车间机械员组织验收。一保的范围应是企业全部在用设备，对重点设备应严格实行。一保的主要目的是减少设备磨损、消除隐患、延长设备使用寿命，为完成到下次一保期间的生产任务在设备方面提供保障。

③ 二级保养（二保）制。

以维修工人为主，操作工人参加，对设备的规定部分进行分解检查和修理。其内容除包括一保内容外，尚需进行电检修、更换磨损的零件、部分刮研、机械换油、电机加油等。二保完成后，维修工人应详细填写记录由车间机械员和操作者验收，验收单交设备动力科存档。二保的主要目的是使设备达到完好标准，提高和巩固设备完好率，延长大修周期。

二级保养虽也有保养的成分，但规定以维修工人为主，且从内容上讲，主要还是修理。所以这和日保、一保是有区别的，应当把二保看做是计划修理的一个类别来对待和考核。

(2) 提高设备维护水平的措施

要求设备维护工作的基本做到三化，即规范化、工艺化、制度化。

规范化就是使维护内容统一，哪些部位该清洗、哪些零件该调整、哪些装置该检查，要根据各企业的情况按客观规律加以统一考虑和规定；工艺化就是根据不同设备制定各项维护

工艺规程，按规程进行维护；制度化就是根据不同设备，不同工作条件，规定不同维护周期和维护时间，并严格执行。

设备维护工作应结合企业生产经济承包责任制进行考核。同时，企业还应发动群众开展专群结合的设备维护工作，进行自检、互检，开展设备大检查。

建立设备维护保养状况的检查评比领导机构，对以下内容进行检查评比。

a. 各级岗位责任制建立和贯彻情况。

b. 设备管理各项资料的健全情况。

c. 各项技术经济指标完成情况。如设备完好率和完好设备抽查合格率，维护保养抽查情况，故障情况等。检查评比应以鼓励先进为主，以推动设备管理工作的开展。“红旗设备竞赛”活动是搞好设备维护保养的一种好形式，应不断总结经验，以求实效。

5.3 设备的日常和定期检查

设备的检查是设备状态管理的一项内容，是为了掌握设备的实际技术状态和完好状况，早期发现故障隐患而进行的检验的测量工作。做好设备检查工作可为搞好预防修理提供信息，是编制维修计划、开展维修作业的依据。

按常见的设备检查分类，设备检查可分为：日常检查、定期检查、精度检查。

(1) 日常检查　设备日常检查是由操作工人和维修工人每日执行的例行维护作业，以五官感觉为主。主要是由操作工人每天对设备进行检查，可与日常保养结合起来，如果发现一般的不正常情况，可立即加以消除，如发现较大的问题，应立即报告，及时地组织修理。日常检查的内容见表 5-1。

表 5-1　设备的日常检查的内容

序号	名　称	执行人	检查对象	检查内容或依据
1	班前检查	操作工	所有开动的设备	1. 开车前检查操作手柄、变速手柄、刀具、夹具、模具等位置有无变动及固定情况，检查油标，并按各润滑点加油 2. 检查安全、防护装置是否完好、可靠 3. 开空车检查自动润滑来油情况，运转声音、液压、气压系统的动作、压力等是否正常 4. 确认一切正常，开始运行、生产
2	巡回检查	维修钳工、维修电工、润滑工	维护区内分管的设备	1. 听取操作工人发现问题的反映，经复查后及时排除缺陷 2. 通过五官感觉对重要部位进行监视 3. 查看油位、补充油量、检查油温 4. 监视正确使用设备
3	重点设备点检	操作工 维修工	重点设备、特殊安全要求设备	依据设备动力部门编制的设备日常检查卡进行周期性的点检

(2) 定期检查　设备定期检查是指对列入预修计划并按预定的检查间隔实施的设备检查作业，由专业维修人员通过五官和一定的检查工具、仪器进行。主要检查重点设备、主要动力设备和起重设备等。一般应按计划规定的时间，1～3 个月，全面地检查设备的性能及实际磨损的程度，以便正确地确定修理的时间和修理的种类。在检查中，可以对设备进行清洗和换油。按照主要检查内容的不同，又可分为一般定期检查、精度检查、可靠性试验。设备定期检查内容见表 5-2。

表 5-2 设备定期检查内容

序号	名 称	执行人	检查对象	检查内容和目的	检查时间和间隔
1	定期检查	维修工	列入预修计划的设备	掌握设备所有缺陷，消除一般维修中可以解决的问题，提出下次预修必须修理的项目和备件，准备以及修改原定预修计划的意见	与定期维护同时进行
2	精度检查	维修工	精密机床、关键工序的机床	按照设备精度检查卡，检测设备的全部精度项目或有关主要精度项目	间隔期 6～12 个月
3	可靠性检查	指定检查人员	起重设备、受压容器、高压电器等设备	按安全规程要求进行负荷试验、耐压试验、绝缘试验等，以确保安全运行	以安全规程要求为准

(3) 重点设备点检 实施重点设备的点检制，必须做好以下几个环节的工作。

① 确定检查点。一般应将设备的关键部位和薄弱环节列为检查点。但是，关键部位和薄弱环节的确定与设备的结构、设备的工作条件、生产工艺及设备在生产中所处的地位有很大的关系，必须全面考虑这些因素。确定的检查点过少，难以达到预定的目的；检查点过多，势必造成经济上不合理。检查点一经确定，不应随意变更。

② 确定点检项目。确定点检项目就是确定各检查部位（点）的检查内容，如把制浆造纸厂的传动皮带作为检查点，其检查项目通常包括检查皮带的声响、张紧度、老化情况以及皮带轮的外观和磨损情况等。确定各检查项目时，除考虑必要性外，还要考虑点检人员的技术水平和检测工具的配套情况。最后，将确定的点检项目规范化地登记在检查表中。

③ 制定点检的判定标准。根据制造厂家提供的技术要求和实践经验，制定出各检查项目的技术状态是否正常的判定标准。判定标准要尽可能做到定量化，如磨损量、偏角、压力、润滑油量等均要有数量界限，判定标准均明确地写入检查项目之内。

④ 确定点检周期。根据检查点在维持生产或安全上的重要性、生产工艺特点，并结合设备的维修经验，制定点检周期。点检周期的最后确定，需要一个摸索、试行的过程，一般可先拟定一个点检周期试行一段时间（如一年），再通过对试行期间设备的维修记录、故障和生产情况进行全面的分析研究，拟定出切合实际的点检周期。在完全无经验可循的情况下，也可以采用理论方法先推算一个点检周期，待试行一段时间后，再作调整。下面介绍一种计算点检周期的理论方法——费用损失系数法。

设 A 为每次定期点检的检查费用（含停产损失），B 为单位时间内由于发生故障所造成的损失，则令

$$C=\frac{B}{A} \tag{5-1}$$

式中，C 为费用损失系数。

若设备点检所经过时间 t 没有发生故障，那么，在（$t+\mathrm{d}t$）时间（$\mathrm{d}t$ 为任意长时间）内，设备发生故障的概率是 $r\mathrm{e}^{-rt}$（r 为单位时间故障发生次数）。

显然，在一个点检周期内，故障损失费用与单位时间因故障所造成的损失 B、持续无故障时间 t，以及故障概率 $r\mathrm{e}^{-rt}$ 有关，即

$$C_0=\int_0^T B(T-t)r\mathrm{e}^{-rt}\,\mathrm{d}t \tag{5-2}$$

式中，C_0 为点检周期内故障造成的费用损失，元；T 为点检周期，年。

由式 (5-2) 积分得到

$$C_0 = TB + \frac{B}{r}e^{-rt} - \frac{B}{r} \tag{5-3}$$

若按单位平均时间计算，则有

$$C_1 = \frac{C_0}{t} = B + \frac{B}{rT}(e^{-rt} - 1) \tag{5-4}$$

式中，C_1 为点检周期内平均单位时间故障损失。

$$C_2 = \frac{A}{T} \tag{5-5}$$

则一个点检周期内单位时间的总费用为

$$R = C_1 + C_2 = B - \frac{B}{rT}(1 - e^{-rt}) + \frac{A}{r} \tag{5-6}$$

由式（5-6）对 T 求导，并令其为零，即 $\frac{dR}{dT}=0$

则有

$$\frac{B}{r} - A = \left(\frac{B}{r} + TB\right)e^{-rt} \tag{5-7}$$

因 e^{rT} 的泰勒二次展开式为

$$e^{-rT} = 1 - T + \frac{1}{2}(rT)^2 \tag{5-8}$$

将式（5-8）代入式（5-7）中，整理得到

$$T = \sqrt{\frac{2A}{rB}} = \sqrt{\frac{2}{rC}} \tag{5-9}$$

式（5-9）就是按费用损失系数 C 确定点检周期的计算公式。

⑤ 应用示例

设某台制浆造纸设备一次点检的费用为 500 元（含停产损失），平均每年发生三次故障，每次故障包括停产损失和修理费在内的总损失平均为 5000 元，试求该设备的点检周期。

解 因为 $A=500$ 元，$B=5000$ 元，$r=3$，所以，$C=B/A=10$

于是设备点检周期 $T = \sqrt{\frac{2}{rC}} = \sqrt{\frac{2}{3\times 10}} = 0.26$（年）

5.4 制浆造纸设备的润滑管理

5.4.1 设备润滑管理的目的和任务

（1）设备润滑工作的目的 设备在投入使用后，可能产生各种故障和事故，究其原因，多数是由于润滑不良引起的。

日本的调查结果表明：由 14 种原因产生的 645 次机械故障中，因润滑不良发生故障达 166 次，占总故障次数的 25.7%；因润滑方法不当发生的故障达 92 次，占 14.3%。上述两项润滑方面的原因所造成的设备故障总和为 258 次，占总故障次数的 40.0%，可见，设备产生故障的原因中润滑方面的因素所占比例不小。

良好的润滑可以达到以下目的：保证设备正常运转、防止设备发生事故；减少机件磨损、延长寿命；减少摩擦阻力、降低动力消耗；提高和保持生产效能、加工精度；正确合理润滑、节约用油，避免浪费。

（2）设备润滑管理的基本任务

① 根据企业管理方针、目标，确定设备润滑与密封管理的方针与目标。

② 根据企业的规模大小、设备特点、生产条件和生产工艺流程状况，确定润滑管理的组织形式，拟定规章制度，建立各级管理人员的工作职责和工作标准，并与经济责任制挂钩，使企业润滑与密封管理工作正常开展。

③ 绘制设备润滑与密封图表，建立设备润滑卡和密封卡，制定润滑与密封材料的备料计划和消耗定额。

④ 积极开展设备润滑的定质、定量、定时、定点、定人的五定工作，使设备得到正确、合理、及时的润滑。

⑤ 编制设备油品化验、清洗、换油计划，逐步做到按质换油。

⑥ 检查和改进设备润滑状况，及时改进和解决润滑与密封系统中存在的问题。

⑦ 积极开创“无泄漏工厂”、“无泄漏区域”、“无泄漏设备”等活动，采取有效措施，处理设备跑、冒、滴、漏现象。

⑧ 不断引进、不断研制、不断试验新设备、新工艺、新材料、新技术，学习推广国内外先进经验，尽快使进口油品国产化。

⑨ 组织管理好润滑与密封材料的发放、保管、质量验收，油品掺配、代用和回收。

⑩ 组织管理各级润滑与密封管理人员的业务培训，提高技术和业务水平。

5.4.2 润滑管理的体制与职责

(1) 润滑管理的组织体制　企业设备润滑管理工作，由设备动力科负责，按照企业的规模和生产特点设置相应机构和配备适当的人员。润滑管理组织体制各企业有所不同，但可以归纳为两种形式。

① 分级管理。在设备动力科设置润滑总站，定有专人（站长或技术人员）负责全厂设备润滑技术管理。在车间设有润滑分站（小油库），定有专职润滑工负责车间设备润滑工作，在行政上归车间维修组长（机械员）领导，业务上受设备动力科润滑总站技术人员指导。

这种形式的优点：车间润滑工固定在一个车间，对设备情况熟悉，有利于加强责任性，与车间检修工之间工作配合密切而且灵活，工作也易做好，适用于大、中型企业。

② 集中管理。在设备动力科设置润滑站，定有润滑技术人员按 800～1000F 配备一名润滑工人，直接管理全厂的设备润滑工作。

这种形式的优点：润滑人员、器具都集中管理，有利于统一调配，节约劳动力，适用于小型企业。

此外，还可采用混合形式，润滑工由设备动力科领导，负责设备换油、配制冷却液和回收废油、车间定量发油和机床油箱加油工作。

(2) 润滑管理制度与各级职责　企业应根据生产实践要求制定润滑制度和职责。以下以分级管理形式为例，提出制订润滑管理制度和各级人员职责的基本要点，供企业制定标准时参考。

① 全厂润滑技术管理制度

a. 明确规定厂内设备润滑管理的体制。

b. 制定各级润滑管理的职责范围。

c. 制定润滑管理必须执行的表、卡的内容及表、卡的执行路线。

d. 制定润滑材料（油、脂）的管理、检验、收发手续和办法。

e. 根据润滑“五定管理”要求制定各项实施措施并切实地做到为生产服务。

② 润滑材料的入库制度

a. 供应科根据设备动力科提出的润滑材料申请计划，按要求时间和牌号及时采购。

b. 润滑材料进厂后由检验部门抽样交化验部门对油品主要质量指标进行检验，合格方可发放，采用代用油品必须经设备动力科同意，精、大、稀设备采用代用油品必须由总工程师批准。

c. 经化验合格油品登帐入库，库房管理需记录明细，入库有单据、化验有报告、发放有手续、帐目有登记。

d. 润滑材料入库后按规定堆放，合理保管，以防混杂或变质。所有油桶都应盖好，不得露天堆放，在库内也不得敞口存放。

e. 油库以防火为主，安全储存。油品保管除了保证质量，还需确保安全，避免造成损失；油桶堆放时必须留有安全通道，在储存区附近必须设置消防灭火器械，工作人员要有确保安全生产的责任感，对不安全因素有权制止。

f. 润滑材料储存两年以上者，需由化验部重新化验，合格者发给合格证使用。不合格者由供应科负责处理，不得继续堆放在合格品范围内。

③ 润滑技术人员的职责

a. 组织全厂设备润滑管理工作，拟定各项管理制度和有关人员的职责范围，经领导批准并贯彻执行。

b. 制定每台设备润滑材料消耗定额，根据设备开动计划，提出全年、季度、月份的需用申请计划交供销部门及时采购。

c. 会同厂有关试验部门对油品质量进行试验检查，并做出使用决定，对有问题的油品，应提出解决措施。

d. 编制全厂设备润滑图表和有关润滑的技术资料，供润滑工、操作工和维修人员使用。

e. 指导车间维修工和润滑工处理设备润滑的有关技术问题，并组织业务学习。

f. 对润滑系统和节油装置有缺陷的设备，向车间提出改进意见，通过设备科长后有权停止继续使用。

g. 根据加工工艺要求和规定，提出切削冷却液的种类、配方和配制方法。

h. 编制冷却液配制工艺，指导废油回收和再生。

i. 熟悉国内外有关设备润滑管理经验和先进技术资料，提出有关润滑方面的合理化建议，不断改进工作，及时总结经验并加以推广。

j. 组织新润滑材料、新工具、新润滑装置的试验鉴定和推广工作，对精、大、稀设备润滑材料的代用品提供意见。

k. 指导油料库房管理、合理存放、安全保管。

l. 编制全厂设备润滑卡片，制定设备换油、保养、消耗、工艺用油的定额，制定设备换油周期，统计换油记录，检查换油进度，检查换油质量，检查统计设备漏油情况，并采取措施或建议有关方面及时解决。

m. 督促指导正确、合理使用油料，进行润滑事故分析。

④ 润滑工的职责

a. 熟悉所负责各种设备的润滑情况和所需的油质、油量要求。

b. 贯彻执行设备润滑的“五定管理”，认真执行油料三级过滤规定。

c. 经常巡回检查设备油箱的油位，低于油标线应及时加油，保持油箱达到规定的油面，

如发现漏油部位应通知机械员进行修理。

d. 按设备换油计划（或一级、二级保管计划）在维修工和操作工的配合下，负责设备的清洗换油，保证油箱的清洁。

e. 管好润滑站油库，保持适当储备量（一般为自耗量的1/2），贯彻油库管理制度。

f. 按照油料消耗定额，每天上班前给机床工人发放油料（或采用双油壶制或送油到车间）。

g. 按车间机械员要求每季度一次检查设备技术和油箱洁净情况，将发现的问题填写在润滑记录本中。

h. 监督设备操作者正确润滑保养设备，对不按润滑图表规定加油者应提出劝告或报告机械员处理。

i. 按规定数量回收废油，遵守有关废油回收和再生的规定，配制冷却液。

j. 在设备动力科的指导下，进行润滑材料和新型润滑器具的试验，做好试验记录。

⑤ 设备操作者对润滑的责任

a. 作为操作设备的主人，对设备要做到“三好四会”，熟悉它、爱护它，才能正确的保养好设备。

b. 上班操作前先作空运转、按规定加油，下班清扫保养。

c. 熟悉设备润滑系统，了解设备加油点，知道应加什么润滑油。

d. 定期清洗油线、油毡，经常检查油杯、油嘴、油盒、油管、油标等装置是否完好，做到油路畅通，油窗明亮，有问题及时向修理组反映。

⑥ 设备润滑五定管理。设备润滑“五定”是科学地总结了企业润滑管理工作的经验，把润滑工作的主要活动规范化。只有把“五定”切实贯彻到润滑工作实际中去，才能收到良好的效果。

5.4.3 制浆造纸设备的润滑材料及其选用

制浆造纸设备用的润滑材料可分为：液体润滑剂、润滑脂、固体润滑剂、气体润滑剂。

5.4.3.1 常用润滑油的种类、牌号、性能和用途

(1) 常用润滑油的种类　润滑油主要是原油经过提取汽油、煤油、柴油等后所剩下的重油再经提炼和加工精制的产物。按提取方法分为馏出润滑油、残留润滑油、调合润滑油三大类。

馏出润滑油是从重油中蒸馏出来的润滑油，含沥青和胶质少，馏分较轻，黏度较低，例如机械油、汽轮机油、变压器油等。

残留润滑油是重油减压蒸馏后的残留物，含有一定量沥青和较多胶质，油性较好，黏度较高，如齿轮油、航空机油、车用机油15#等。

调合润滑油是由馏出润滑油和残留润滑油调合而成的混合物。

(2) 常用润滑油的牌号、性能和用途

① 新机械油牌号。有N5#、N7#、N10#、N15#、N22#、N32#、N68#、N100#、N150#等10种，是应用最普遍的润滑油。极性化合物N5#、N7#国产高速机械油属于轻质润滑油，一般用在速度高、负荷较轻的机械部位，如仪表机械、高速机床、磨床主轴、坐标镗床主轴等。N15#，N32#新机械油也属于轻质润滑油，一般作为中小型机床齿轮箱导轨润滑油、热处理淬火用油、机械设备的冬季液压系统用油、设备的保养用油。N46#、N68#，N100#新机械油属于中质润滑油，一般用在中型机械设备的齿轮箱、变速箱蜗轮副、导轨润

滑。N150#机械油属于重质润滑油，一般用在大型、重型机械的各部分润滑，可代替低速柴油机油。N150#也能用于冶金工业制管机、小型轧钢机。

② 汽轮机油。共分N32#、N46#、N68#四个牌号，主要用于汽轮发电机上，由于它具有防水、抗氧化性能并且经过深度精制，所以油质纯净，色泽纯白。N32#、N46#汽轮机油主要用于高精度机床的液压系统、齿轮传动部件，由于油质较好，还作为配制专用特种油的基础油原料。N57#、N68#汽轮机油主要用途与N32#，N46#汽轮机油基本相似，由于来源较少，主要作配制特种油的基础油原料。

③ 主轴油。精密机床主轴油适用于精密机床的轴承、主轴箱和纺织机械高速锭子等。其中N15#主轴油还可以作为精密齿轮用油。主要用于坐标镗床、光学坐标镗床、精密万能磨床、无心磨床、平面磨床等。具体选用时的参考数据见表5-3。

表5-3 具体选用主轴油的参考数据

主轴油牌号	N2#	主轴与轴承之间的间隙/mm	0.002～0.006
	N5#		0.006～0.008
	N7#		0.008～0.01
	N15#		0.01～0.02

④ 导轨油。精密机床导轨油主要用于精密机床的纵向导轨、垂直导轨、工作台水平导轨的润滑。具体应用为：

N32#导轨油适用于坐标镗床、镗床、磨床、万能工具磨床等；

N46#导轨油适用于万能磨床、滚齿机床、内圆磨床、坐标镗床等；

N150#导轨油适用于光学坐标镗床；

N150#导轨油适用于坐标镗床、落地镗床，还适用于导轨磨床、龙门铣床、镗床、仪表加工机床等的导轨部分润滑。

液压导轨油中精密机床液压导轨油适合于高精度万能磨床、万能外圆磨床、齿轮磨床等精密机床液压导轨的系统的润滑。

⑤ 汽油机油。主要有6#、10#、15#三个牌号。润滑汽油机油用于发动机中汽缸、活塞、曲轴、轴承等部位的润滑，具有抗氧化、耐磨和闪点高等性能。除车辆上使用外，也作压缩机和其他机械设备上润滑用油。

6#汽油机油一般用于汽车汽油机冬季润滑；

10#汽油机油一般用于汽车汽油机夏季润滑；

15#汽油机油在大型载重汽车发动机陈旧或活塞与汽缸间隙大的情况下作夏季用油。也可代13#压缩机油用于空压机的润滑。

⑥ 柴油机油。主要有8#、11#、14#三个牌号，润滑柴油用于发动机中汽缸、活塞、曲轴、轴承等部位，具有耐磨、抗氧化、可清除炭和闪点高等性能，适用汽车、拖拉机、钻机等柴油发动机的润滑。

8#柴油机油适用于柴油机汽车、拖拉机、高速柴油机等的冬季润滑。

11#柴油机油适用于柴油机汽车、拖拉机、高速柴油机等的夏季润滑。

14#汽油机油适用于内燃机车全年使用，钻探、起重、挖掘等机械的润滑。

⑦ 压缩机油。主要有150#一个牌号，性能与汽油、机油、柴机油相似，用于各种空气压缩机。

⑧ 冷冻机油。主要有 13#、18#、25#、30# 四个牌号，分别应用于各种不同制冷剂的冷冻机。

13# 冷冻机油适用于四氨或二氧化碳为制冷剂的冷冻机。

11# 冷冻机油适用于氟氯烷为制冷剂的冷冻机。

25# 冷冻机油适用于要求使用黏度较大的氟里昂 22 或氨等制冷剂工作的冷冻机。

30# 冷冻机油适用于排气温度 145℃左右、要求使用高黏度和高闪点制冷剂的大型冷冻机。

⑨ 变压器油。主要有 10#、25#、45# 三个牌号，作各种变压器线芯，起绝缘、冷却和启动补偿器绝缘灭弧作用。绝缘性能良好，一般要求耐压 3 万伏以上。

10# 变压器油适合我国南方环境气温不低于－10℃的地区使用。

25# 变压器油适合我国大部分地区，环境气温不低于－25℃的地区使用。

45# 变压器油适合我国北方，环境气温不低于－45℃的地区使用。

⑩ 齿轮油。用于汽车和拖拉机的传动机构，如变速箱、差速器、前后桥齿轮和转向器等摩擦部件的润滑。

5.4.3.2 制浆造纸润滑材料的选用

(1) 润滑材料的选用原则

① 工作规范。如运动速度（速度高的，要选黏度低的）、运动情况（冲击、振动大的，要选黏度高的）、负荷大小（负荷大的，要选黏度高的）。

② 工作温度。如工作环境温度较低时，要选黏度小的；温度经常变化时，要选黏度高的。

③ 周围环境。如湿度大时，要选有防锈添加剂的润滑材料，而且尽量密封。多尘时，应密封并有过滤装置。在化学气体环境中，要采用有防锈添加剂的润滑材料。

④ 运动副的结构。如间隙小的，选黏度低的；摩擦面加工精度高的，选用黏度低的。

⑤ 润滑系统结构。如对机械循环润滑系统，应选黏度低的。

(2) 润滑油的选用

选用润滑油时，通常按下列步骤进行。

① 按设备的工作条件和工作环境选用。包括运动速度、载荷及载荷特性、运动副的间隙和加工精度、工作温度、工作环境、润滑装置及部位。各考虑因素简略地记录在表 5-4 中。

表 5-4 润滑油黏度选择的考虑因素

低黏度	中黏度	高黏度	低黏度	中黏度	高黏度
轴承速度高 载荷低 全封闭	飞溅油或滴油润滑	轴承速度低 载荷高 通风良好	循环润滑 轴承很小	飞溅油或滴油润滑	无加油操作 轴承大

② 按润滑油的性能选用润滑油。主要是根据润滑的性能及其用途，结合机器设备的工作条件和工作环境，进行综合考虑，合理地选用润滑油的品种和牌号，见表 5-5。

5.4.4 设备的润滑方式与润滑装置

(1) 对润滑方式和润滑装置的要求

① 能确保润滑材料的供应。好的润滑方式和装置，能均匀地、连续不断地供给润滑材料，操作者易于根据工作条件的变更调节油量的供给。

表 5-5　造纸设备润滑油选用

设备名称	润滑部位	工作条件	建议选用品种
切草机	飞刀辊轴承	工作温度不高	采用滑动轴承时，夏用 50#、冬用 30# 机械油；采用滚动轴承的，可选用 4# 钙基润滑脂
	蜗轮、蜗杆	温度低	夏用 30#、冬用 20# 齿轮油，也可选用 70# 机械油
筛浆机	滚动轴承	潮湿有水	3# 钙基润滑脂
风机	滚动轴承		2# 或 3# 钙基润滑脂
浆泵水泵	滚动轴承	工作温度不高，潮湿有水	3# 钙基润滑脂或 30# 机械油
齿轮减速箱	齿轮和轴承		夏用 30#、冬用 20# 齿轮油或夏用 50#、冬用 30# 机械油
电动机	滚动轴承	工作温度在 60℃以下	小型电机，2# 钙基润滑脂 中型电机，3# 钙基润滑脂
浓缩机	滚动轴承	潮湿有水	3 号钙基润滑脂。
打浆机	滑动轴承	负荷重，转速低，温度高	夏用 52#、冬用 38# 汽缸油
纸机	传动部位滚动轴承	中转速，中负荷，低温	3# 钙基润滑脂
	压榨部分	潮湿有水，负荷重，转速低，温度高	选用 5# 钙基润滑脂；采用稀油者，可选用 70# 机械油或 11# 汽缸油
	网部	潮湿有水，负荷轻	2# 或 3# 钙基润滑脂
	烘缸滑动轴承	负荷较重，转速低，温度高	采用干油者，选用 4# 钠基润滑脂，采用稀油者，夏用 70# 机械油或 24# 汽缸油。冬用 50# 机械油或 11# 汽缸油
	光泽辊轴承	转速低，温度高	3# 钙基脂
	滑动轴承 滚动轴承	中速，中负荷	采用稀油者，选用 11# 汽缸油；采用干油者，选用 3# 钙基润滑脂
切纸机	滚动和滑动轴承		滚动轴承，采用 3# 钙基润滑脂；滑动轴承，采用 20# 机械油
复卷机	滚动轴承		3# 钙基润滑脂
打包机	液压装置		50# 机械油

② 能保证润滑作用。在选择润滑方式和装置时，除特殊设备外，一般要尽量采用机械化、自动化控制润滑。充分利用强制润滑，确保润滑作用。

③ 能防止污染，保持清洁。润滑装置应能防止灰尘、铁屑等的污染，保持润滑材料的质量，起到良好的润滑作用。

④ 润滑装置应在性能良好的前提下，力求简单，便于合理维护，减少润滑材料的消耗。

⑤ 要确保安全操作，避免发生事故。

⑥ 由于制造厂对润滑装置设计不合理，造成润滑不良或漏油，使用单位要把改进方案和意见，反馈到制造厂进行改进。

(2) 常用的润滑方法和润滑装置

① 手工润滑。方法简单，应用普遍。一般由操作工人用油壶或油枪向油孔、油嘴、油杯加油。要求认真操作，按时、按量加油。

② 滴油润滑。利用各种滴油杯，只供一次润滑的少量润滑油，油量受油杯中油位和油温的影响。需要经常检查其作用是否正常，油位低于 1/3 时需要加油，针阀和滤网需定期清洗。此法需要工人照顾，不完全可靠，停机时要关闭针阀。优点是结构简单，可以较均匀、连续地供油，便于检查。

③ 油绳和毡块润滑。利用毛毡的吸油、虹吸作用供油，并有一定过滤作用，多用于低速轻载处。

④ 强制送油润滑。机械强制润滑装置能按需要的量均匀地发送润滑油，装置一般由单向阀、活塞、弹簧等组成，也可用柱塞泵、叶片泵、由传动轴或主轴上的凸轮、偏轮、棘轮、摆杆、齿轮或皮带轮带动。由于是运动机器本身所带动，可靠性好，维护工作量小、油量可调整、耗油量中等。装置较复杂，常受到空间位置的限制，适用于少数机械。

⑤ 油雾润滑。利用悬浮在空气中的成为雾状的微小油粒进行润滑，一般应用压缩空气或蒸汽吹散油成为雾状，送到摩擦表面上，形成必需的极薄的油膜。耗油量小，能保证不断地供给，有一定压力，渗透力强，能保证润滑效果。缺点是较为复杂，制造成本较高，只适用于有气源的地方，且有污染。

⑥ 几种自带润滑。应用机件本身的动力来供油。如油池或溅油润滑主要应用于闭式齿轮、链条及内燃机曲轴箱。润滑可靠、维护方便、防污节油。但流量不易调节，搅动和热损失较大。自动吸油润滑应用于整圆形的滑动轴承上，原理是利用快速旋转轴颈轴承的无荷低压区带走油，形成局部真空，通过接油池的吸油管吸入润滑油供油润滑。这种方法简单可靠，来油均匀连续。启动时必先点动吸油，只适于高转速、负荷方向不变的轴承。离心甩油润滑利用圆锥表面离心力变化从小端向大端送油，或利用圆锥滚子轴承高速旋转可对重直高速主轴供油。这种方法结构简单可靠，油可循环使用，冷却良好，但只能在一定条件下应用。

⑦ 几种简单的机件润滑。油环润滑、油轮润滑、油链润滑等。结构简单、自动可靠，但均有速度限制，油量不易调节。

⑧ 喷油润滑。直接喷油至高速旋转的齿轮、轴承等，通过喷油嘴可使润滑油均匀分配，润滑油冷却效果好，对高速和较高温度下工作的轴承还可采用注入润滑法。

⑨ 压力循环润滑。对于负荷较大、速度较高、产热量较多、润滑点集中的重要设备，采用循环润滑是最有效的办法。润滑充分可靠，冷却和冲洗效果好。有单泵式、双泵式和重力式三种，需要设置过滤和冷却装置、显示和保护仪表，结构较复杂。

可靠的润滑系统装置包括润滑液净化装置、油箱、油泵、冷却器或热油器、显示控制仪表的反馈安全装置等。压力供油可及时对多润滑点润滑，冷却及冲洗作用好，油耗小，操作自动化。润滑系统的功能及复杂程度根据设备的需要而设计。

润滑脂润滑的方式有：不常拆卸部分的滚动轴承，可在装配时涂敷和填充；用人工或自动，由脂杯、脂枪供应润滑脂；现代大型、复杂设备上高油脂集中润滑系统，定时定量地发送润滑脂到指定的润滑点，特点是准确可靠而无浪费。

5.4.5 润滑材料的消耗与回收再生处理

5.4.5.1 润滑材料的消耗定额

企业制定润滑材料的消耗定额，应以机台为统计单位，根据设备开动台时（班数），分别按各个车间部门计算每月、每年的消耗定额，然后核算全厂每年的消耗量，安排采购计划、组织货源、及时供应、实行定量管理。

(1) 单台设备润滑材料定额的计算　设备润滑材料的消耗一般包括三个部分：油箱换油量 Q_1，设备油箱清洗换油所需的油量；油箱添加量 Q_2，油箱正常消耗需要经常添加的油量和表面浇油量 Q_3，设备日常保养表面润滑每班浇油量等。

上述三者全年定额之和就是单台设备全年的耗油量

$$Q=Q_1+Q_2+Q_3 \tag{5-10}$$

凡超过上述正常耗油定额的设备，属于漏油设备。超过定额一倍以上的为严重漏油。

(2) 治理漏油　这不仅是设备管理与维修工作的一项任务，也是节能、降耗的内容之一。治漏工作应抓好查、治、管三个环节。

查　查看现象、寻找漏点、分析原因、制订规划、提出措施。

治　采用堵、封、修、焊、改、换等方法针对问题治理漏油。

管　加强管理，巩固查、治效果。

在加强管理上，应结合具体情况做好有关工作，如建立、健全润滑管理制和责任制，严格油料供应和废油回收利用制度，建立、健全合理的原始记录并做好统计工作，建立润滑站，配备专职人员、加强巡检并制定耗油标准。做好密封工作对防止和减少漏油也会起到积极的作用。

5.4.5.2　润滑油的回收和再生处理

(1) 润滑油废旧老化的原因　应用在机器中的润滑油常与金属、涂料、橡胶等物接触，又要受到空气、阳光、电场作用，还有尘屑水汽的沾污等，逐渐渗入了各种不同的气体、液体和固体等外来物，从而出现了物理和化学的变化。如润滑油被燃料油、水所稀释、污损和烃类的分解、氧化等现象。润滑油在日常使用中其物理和化学的成分和性能均不断变化，结果在润滑油中增加了沥青、胶质、炭黑、各种盐类、燃料、金属和矿物屑末、纤维及水分等杂质，使其逐渐废旧，以致不能使用而需加以更换。

(2) 废旧润滑油的回收和利用　润滑油氧化变质只是极少部分，不难通过一定的方法加以再生，恢复其使用性能。而废旧润滑油如任意泄漏抛弃或排入下水道会破坏环境卫生、污染江河农田等。因此回收废旧润滑油既能节约能源，又能防止环境污染。

节约回收的具体措施包括认真收集各种设备润滑系统周期性换油换下来的油料；在专用机床底下安装油盘、油槽、油桶收集漏油；在设备附近设置油水分离池、油水分离箱、油水分离沟，使与冷却水混合的漏油流入池、箱、沟里，经过静止后把浮油捞起来；在压缩机排气管处设置油料回收设备，把从气体中带出来的油料收集起来；漏在地面上的油，不要用木屑吸干，因为木屑中的油不能榨出来，应该用纱头揩布蘸干挤拧出来，做到点滴回收。废旧润滑油的充分利用：除进行再生利用外，设备清洗换油调下来的废油，不能再作设备用油，经过沉淀过滤后，可作机床导轨等滑动面消耗保养用油；收集的废油可代替新的润滑油作为铸工车间调炭灰水；作浇水泥预制品模子润滑用；利用废油自制切削油和乳化油。

(3) 润滑油的再生

① 沉降。水分及其他固体夹杂物质相对密度较润滑油的相对密度（0.8～0.9）大，在润滑油静止状态下，水分和固体杂质能在其重力作用下而逐渐下沉到底部，然后将其分开。这是一种极为简单而有必要的方法，沉降能使进一步再生大大简化。沉降的速度与杂质的密度、大小和形状有关，并与润滑油的密度和黏度有关，润滑油的密度和黏度愈小，杂质的沉降速度便愈大，废旧油收集后就可让其在常温下陆续沉降；大约需要三四天才能沉降完，若要加速沉降，升温到70～90℃即可。

② 离心分离。是一种机械化的沉降方法，在这种沉降过程中作用于固体或水分颗粒上的力不是重力，而是离心力，在离心力的作用下，由于废旧油中的固体杂质和水分密度较大，故其离心力和离心速度较大，被从中心抛向离心容器的边缘而与润滑油相分离。离心分离时，机械杂质和水分的分离速度还与废旧油的阻力（即黏度）有关，故为了降低废旧油的

黏度，也可将其加热到60℃以内的温度。分离的程度还与其离心的时间及每次离心的数量有关，时间愈长、其被分离的数量愈少，则所得的润滑油愈洁净。

③ 过滤。将废旧润滑油透过多孔材料（滤布、滤纸、金属网、木炭、毛毡、分子筛等）使悬浮在油中的细微夹杂物被隔离而分离出来，而水滴能通过滤纸细孔。过滤是循环润滑系统中净化油的主要步骤，是再生的最后一道工序。过滤有自重过滤和压力过滤两种形式。自重过滤设备较简单，仅利用油的自重形成压力差，推动其通过过滤层。压力过滤是用油泵或压缩空气使油产生足够的压力差推动其通过滤层。

(4) 再生油的使用　主要是根据再生油的质量状况来决定。若完全符合新油的标准，则基本上可按新油使用，否则要视情况合理配比使用，再生汽油、机油可与相同牌号的新油以1∶3的质量比例调合使用，或改做近似黏度的机械油使用。

5.4.6　设备的润滑故障及预防措施

由于润滑不良而产生的设备故障在各类的故障中所占的比重很大，必须加强对设备润滑故障的研究，采取积极的预防措施以减少润滑故障的发生。

润滑故障的主要表现形式及原因如下。

(1) 机械运转不灵　机械运动时运动沉重而不匀，不能平稳地工作，动力消耗大，电机过热，达不到要求的转速，传动机件过热并受到损伤。其原因有以下几个方面。

① 摩擦部分设计不当或制造、装配不良。如表面质量太差，配合间隙过大或过小，造成润滑不良而运转状态恶化。

② 摩擦部分材料及其组合不当、润滑剂及润滑方法选择不当。有的属设计问题，有的属维护修理问题，造成运动不稳，容易引起研伤。

③ 有异物混入，引起磨料磨损并阻碍运动。产生原因有密封不良、过滤失效、润滑剂管理不善等。

④ 摩擦部分已损伤，如齿轮、轴颈与轴承、丝杠与丝母、导轨面等发生磨损、研伤、咬伤、咬黏、剥落等损伤，运动状态将恶化。

(2) 产生振动和噪声导致机械性能降低和环境恶化，会造成机械过早损坏，原因同上。

(3) 温度过高　摩擦大则摩擦部分及其周围的温度就显著升高，如果箱体外壳超过80℃，则箱体内运动副的温度还要高出几十度，会发出润滑油燃烧的气味和冒烟，发热过多造成较大的热膨胀和热变形，导致摩擦副的配合和啮合失常，又促进发热，如此恶性循环。发热过多的原因是强使摩擦大、润滑不良的机械运转，摩擦大的原因除(1)所述外，还有润滑油黏度过高、油量过多、散热不良等原因。

(4) 机械不能运转　在正常工作条件下，停止运转或不能启动。原因是摩擦部分严重损伤；有尘埃、砂土、碎屑进入摩擦面间；温度过分升高；摩擦部分状态显著恶化或发生黏着等，致使机械中产生异常阻力超过了驱动力。

因此，应该坚持测量和记录设备的状态，如噪声、振动、温度、动力消耗、润滑油污染等数据并分析，有助于发现故障征兆，避免发展成重大故障或事故。如果实行状态监测和故障诊断，则更可减少故障的发生。

5.5　制浆造纸厂设备操作规程实例

本节以某厂制浆制纸设备操作规程为例。

5.5.1 1号生产线打浆工段操作规程

(1) 侧压浓缩机

① 开机

a. 启动前先检查设备周围是否安全，无问题后，方可开机；长时间停机必须找钳工检查，确认正常后方可开机。

b. 打开喷网水。

c. 启动网鼓，开槽底清水阀。

d. 电铃或电话联系化浆车间送浆（送浆长声，停送短声）。

e. 根据要求的打浆浓度调节出口白水或清水量。

f. 运转时随时注意电机、设备运转情况发现问题及时与电、钳工及车间联系。

② 停机

a. 电铃或电话联系停止送浆。

b. 待网槽内浆全部脱完后，用清水冲洗干净，停止转鼓的转动。

c. 关闭所有水阀，停机 8h 以上关送浆阀。

(2) 双盘磨

① 开机

a. 先检查设备，电机是否正常，长期停机的要找电、钳工检查，确认正常后方可开机；启动电机时通知电工到场监护。

b. 检查是否完全退刀。

c. 打开盘磨上清水阀，启动双盘磨。

d. 启动 1# 或 8# 浆泵，待盘磨电器柜上的红灯亮后将手柄打到“运转”位置。

e. 待取样箱内有浆流出时，关闭盘磨清水阀，打开取样箱上清水或白水阀，按工艺要求进刀，调节浆的浓度。

f. 2# 或 9# 池浆位低于 2/3 时必须开启双盘磨。

② 停机

a. 退刀。

b. 打开双盘磨上清水阀，关掉取样箱上清水或白水阀。

c. 停 1# 或 8# 浆泵。

d. 待浆管及盘磨冲洗干净，取样箱无浆流出后，停下盘磨。

e. 关闭盘磨上清水阀。

③ 注意事项

a. 防止盘磨空磨。

b. 防止硬杂物混入浆料，打坏盘磨。

5.5.2 1号生产线造纸工段操作规程

5.5.2.1 网部岗位

(1) 开机前的准备和检查

① 开机前应与上下工序联系，全面检查所属设备，确认安全后，启动 P25、P28、P801 泵和水针泵 P802、P27、P803。

② 检查所有刮刀是否严密，网子和辊面上有无黏浆块、杂物、启动网子前应冲洗干净。

③ 检查成形网与底网夹区内特别是前辊下楔形区的黏浆是否冲洗干净，吸移箱面板条

缝、真空吸水箱孔眼是否冲干净。

④ 检查网子有无洞眼、油点、裂边、拱起等情况。

⑤ 检查网子松紧是否符合张力要求，前辊位置是否适中。

⑥ 检查各部螺栓是否拧紧。

⑦ 检查校正辊、张紧辊位置是否适中。

⑧ 检查挡浆边板、水针、喷水管、加压气簧、放浆阀等有无堵塞、断裂等情况。

⑨ 检查伏辊与驱网辊负荷分配是否在规定范围内。

(2) 开机顺序

① 落下辊子刮刀加压，把所有摆动刮刀置于“摆动”位置。把洗网高压水管置于“动”位置。

② 启动网子前必须打开成形板、弧形靴、吸移箱前的湿润水阀。

③ 把纸机总控制选择开关置于“1 位”，旋转网部电源选择开关，按启动钮，根据需要，选择开关可打至“点动”、“爬行”、“运转”。

④ 启动伏辊池、搅拌器、浆泵，确认安全后，先开爬行，再加速运转。

⑤ 启动 P803 泵、P26、P27 泵。

⑥ 浆料上网后，关闭弧形靴，吸移箱前面的湿润水管。

⑦ 准备带纸之前，将冲纸幅水管打至“自动”位置（若自动失灵，则用手动操作），抬起真空引纸辊时，开 P26 泵，带纸后停 P26 泵。

(3) 停机

① 与上下有关岗位联系，并做好停机检查准备工作。

② 抬真空引纸辊（关 P26 泵连锁失效，则在抬真空引纸辊前开 P26 泵），停止放白水，然后停止上网浆泵，若超过半小时以上的停机，应同时停下各真空泵、风机。

③ 停冲纸幅水泵和洗网高压水泵，使网子爬行，用清水将网子各部冲洗干净，1# 池浆抽完后，停下送浆泵和搅拌器。如需碱洗网子应在停机前将烧碱液配好，然后打开 P28 泵、P25 泵，开启送碱泵洗网，洗网完毕，打开喷淋湿润水管和高压摆动水管将网冲洗干净。

④ 把 003P 操作台上选择开关打至“0”位，停下各水泵，关闭各常压进水阀，停下刮刀。

⑤ 如停机时间过长，要抬起辊子刮刀，放松网子，停伏辊池搅拌器、浆泵，将瓷面板彻底清洗干净。

⑥ 如遇“紧急停机”必须提高顶网中心辊，把顶网放松，彻底清洗前辊下的楔形区、吸移箱陶瓷面板上两床网子间的浆料，冲洗干净后，把顶网中心辊放下复原。

(4) 运转中注意事项及一般事故处理

① 运行中必须注意检查网子校正器（辊）、自动张紧辊工作情况，谨防网子跳偏，张力过小而起折。生产中检查网边时不得用手直接接触，应用细木柴杆或其他对网不损伤的工具小心检查。

② 经常检查辊子刮刀是否严密，摆动刮刀是否正常，防止黏浆；运转中，不得用其他工具摸或刮辊子上的黏浆，防止意外事故发生，应用水管冲洗干净。

③ 运行中若网子湿润水泵（P25、P28），因故停转应立即停机处理，防止网子干磨。

④ 运行中若 P309、P310 风机因故停转或其他原因造成真空度过低，应停机处理将真空泵及高、低压风机停下，应注意洗网碱液浓度不要超过 15%。

⑤ 套网前应仔细检查各脱水元件和辊子表面是否平整光洁，如有毛刺应用砂布磨平，若脱水元件或辊子表面凹凸不平应更换，以免损坏网子，进入伏辊池工作时，必须在停机时进行，停下搅拌器，挂上不准开机安全牌或有人监护，同时系好安全带。

⑥ 运行中要注意检查各部真空度是否符合工艺条件要求，各排水堰、舱排水是否正常，各水封池水位是否适当。

⑦ 生产中应密切注意 006H 控制柜、003P 操作台上所属仪表显示及报警讯号，以便及时发现问题进行处理。

⑧ 注意检查伏辊池液位控制情况，检查定边水针、活动水针工作情况，及时处理针上的黏浆现象。

5.5.2.2 压榨岗位

(1) 开机前准备工作

① 接开机通知后提前半小时启动液压站回油处理泵，同时将中、高调压气阀调“0”位。

② 全面检查所属设备及毛布松紧情况以及真空引纸辊限位装置是否灵敏，以确保开机安全。

③ 检查各校正器位置及工作情况，检查各辊刮刀特别是右辊刮刀是否严密。

④ 检查本部传动电机的负荷分配器是否在规定范围内。

⑤ 将各压区销子拔去，压力转换开关置于靠紧位置，打开毛布真空吸水箱及毛布润水管阀。

⑥ 将各摆动刮刀、毛布高压摆动水管喷水开关置于“摆动”位置（若自动控制失效，则应在压榨启动后才能开高压水）。

⑦ 将真空引纸辊和真空压榨辊内湿润水管打开。

⑧ 启动 P25 泵、PS01 泵，放下接损纸溜槽，使压损池工作开关转至“自动”。

(2) 开机顺序

① 在 003P 操作台上把控制电源开关置于“1 位”，启动压榨传动、点动或爬行，爬行后启动 P803、P804 或 P805 泵，启动压损池搅拌器。

② 爬行后作如下检查工作：

a. 液压泵是否与压榨部同步运转，各部是否有真空；

b. 刮刀是否摆动，各喷水管嘴是否畅通；

c. 高压水针喷水管是否有水和摆动，沟纹喷水管角度适当与否，喷嘴是否堵塞或异常。

③ 真空引纸辊未降下引纸前，打开真空引纸辊和真空压榨内清洁水阀，引纸后关闭。

④ 检查完毕即可加速运行，其操作步骤如下：

a. 靠拢—爬行 1min 后—加压—运行，采用普通沟纹辊；

b. 靠拢—爬行—开快速并节油压—待油压上升后打加压运行，采用可控中高辊。

⑤ 运行中应检查各设备运行与电流是否正常，压榨部各传动线速是否适当，校正工作是否正常，检查断纸吹嘴切换开关是否置于“自动”位置，若自控失灵，可手动检查压损池液位控制情况。

⑥ 确认安全正常后，启动压损池送浆泵、循环泵、打开溜槽喷水管和压损池冲稀管，落下真空引纸辊引纸。

⑦ 正常生产中应密切注意检查所属设备及毛布运行情况以及操作柜上仪表显示报警

讯号。

⑧ 生产中注意压辊的严密程度及刮刀磨损程度，刮刀宽度剩余 1.5cm 时要及时通知并更换。

(3) 停机程序

① 与上下工序联系，首先提升真空引纸辊，关真空连接阀。若停机时间较长或剪毛布时应停下真空泵。

② 停压损池系统的水阀与泵。

③ 清洗三床毛布并冲洗刮刀，开爬行，停摆高压水，关闭水阀。

④ 打开真空引纸辊、真空压榨辊内清洗水阀。

⑤ 上列工作完成之后，工作开关置于“0”位，将压榨传动停下来，抬起压榨辊，停可控中高辊油泵，本部各水泵，关闭常压手动水阀，停摆刮刀。

⑥ 若停机时间较长或需进行检修，应将刮刀抬起，放松三床毛布，切断电源开关，上安全销子。

⑦ 如遇由于液压站系统故障等造成本部自动停机，必须查明原因，处理故障之后，再按正常开、停机程序进行。

⑧ 如本部有意外情况，需停机则迅速将 003P 柜上工作开关置于“0”位，如遇特别意外情况，需全线停下，则按“紧急”停机按钮。

(4) 运转中的注意事项及一般事故处理

① 本部自动化程度较高，压榨工必须密切注意 003P 操作台上仪表显示及报警。

② 启动各泵时，需检查各进出口阀门是否已打开。

③ 不得用尖锐物品刮擦转动弧形辊、沟纹辊和石辊，正常生产中或引纸过程中抬起石辊刮刀。为防止沟纹辊沟纹堵塞，应保持沟纹喷水管有足够的压力，并保持喷嘴始终畅通。

④ 运行中不得用手触摸转动中的辊子。

⑤ 毛布有严重跑偏或局部起折时，应立即停机处理。

⑥ 正常生产中不得抬起损纸溜槽；冲洗辊子、刮刀时，不要把水冲到压榨传动面的电机上，以防电机烧坏。

⑦ 运行中应经常检查各喷水管、高压摆动水针工作情况，以及毛布真空吸水箱有否尖角与凹凸不平，一有停机应拉开毛布疏通各喷水管嘴，并除去吸水箱面板上的污垢（要用细砂布磨平）。

⑧ 为防止网子产生震动起折，操作引纸辊时务必注意，当引纸辊下降压入网面时才能打开真空连接阀；当提升引纸辊离开网面时，应先关掉真空连接阀（连接阀损坏的正常生产不作要求）。

5.5.2.3 干燥岗位

(1) 开机前的检查与准备

① 开机前应与上下工序及电工、钳工、仪表工联系，全面检查所属设备、干网、绳。联系通汽时间，值班钳工应提前半小时开启中心润滑油系统和循环系统（油温 70℃）。

② 检查干网松紧是否符合张力要求，引纸绳是否完好，将摆动刮刀置于“摆动”位置。

③ 启动前分别将 104# 操作台及 2#、3#、4# 干燥操作台选择开关打至“0”，认为安全后，启动烘缸爬行，如需要还可以“点动”、“反向点动”和“反向爬行”。

(2) 开机顺序

① 开启主蒸汽阀前，应先将主蒸汽管道上的冷凝水疏水阀打开，检查汽、水分离水阀是否关闭，然后缓慢启动电动阀，让管内存水排空，预热蒸汽管道和烘缸，预毕，即可缓慢开大汽阀至工作状态，同时关闭冷凝水排水阀，烘缸快速运行。

② 打开表面冷凝器冷却水进清水池仪表阀置于“自动 1 开”位置，开动各真空泵冷凝水泵。

③ 开启通风系统。

④ 开冷缸进水管阀。

⑤ 调节好各组烘缸压差及烘缸进汽阀门开度，使烘缸表面温度曲线符合技术要求。

⑥ 检查自控装置和仪表调节阀是否正常，注意观察烘缸视镜内排水情况。

(3) 停机顺序

① 短时间停机

a. 关闭进汽阀、冷缸进水阀；

b. 停通风系统传动电机；

c. 用“爬行”、“点动”、“反向点动”或“反向爬行”按钮检查干网，引纸绳接头是否整齐牢固；

d. 待烘缸表面温度下降，冷凝水排空后（0.5h 以上）可停下。若电流偏高，需蒸汽排水使电流降至正常位置，才能停下（意外事故除外）。

② 超过 3h 以上停机，还要作如下操作：

a. 关闭总进汽阀，停真空泵、冷凝水泵；

b. 打开冷凝水系统排空阀；

c. 把操作台上工作开关置于“0”位，切断电源开关；

d. 如果压光机也不需运转，可通知值班钳工停下中心润滑油系统循环油泵；

e. 将表面冷凝器进清水阀仪表置于手动“关”位置。

③ 发现干燥部有意外情况需停机，则迅速把要停的那组操作切换开关打至“停”位置，同时关闭该组烘缸进汽阀。

④ 如遇特殊情况需全机停下，则可按红色的“紧停”按钮，但该按钮平时不得草用，按下“紧停”后，要把它拔起来，否则开不起来。

⑤ 开机通汽时间为：停机 4h 以上通汽时间不小于 30min，8h 以上，不小于 50min；24h 以上，通汽时间要 1.5h。

(4) 运行中注意事项及一般事故处理

① 烘缸进汽压不得超过 0.3MPa，汽温不得超过 160℃，汽压表失灵或条件有变，应立即通知调度及有关人员处理。

② 开机前必须与调度取得联系，每逢检修后，进汽前必须与钳工联系，确认无误后方可准备开机，开启进汽阀时，必须缓慢进行。

③ 缝补干网时或进入烘缸内部工作，必须在线路开关上挂上安全牌，并联系电工，切断电源。

④ 由于干网易着火本部严禁吸烟和明火作业，如需烧焊，必须经过消防队批准，采取有效防范措施。

⑤ 运行中必须加强检查，清除传动侧损纸和纸毛，防止传动断油干磨，引起火灾。

⑥ 烘缸罩选用的照明电线必须符合防火规定的材料，同时要经常检查；失火时应扑灭

火源，同时迅速与消防队联系。

⑦ 运行中不要靠近传动部分，处理损纸和带纸时，要小心谨慎，防止损坏顶网或将引纸绳挤断、拉出烘缸，万一引纸绳接头自断，人应迅速脱离危险区，停机换绳。

⑧ 竹竿清理损纸时，必须注意不要碰撞周围的人和设备，不要把竹竿掉入烘缸，万一掉入烘缸内，人要立即松手，并停机处理。另外处理烘缸刮刀时要小心，不要使刮刀片掉入烘缸内。

⑨ 正常生产的注意事项

a. 若主段进汽压力过高，则会导致纸张过干以至控制段自控调节失效，故应视纸张水分情况，调节主段进汽，保持控制段进汽压力在 0.02～0.08MPa 范围内，保持主进汽压力在 0.25～0.3MPa；

b. 每次调节蒸汽压力不要超过 0.03MPa，烘缸表面温度不准超过 160℃；

c. 注意观察烘缸排水情况和汽水分离器液位情况；

d. 维持冷凝水真空泵真空度在 350mmHg（1mmHg＝133.322Pa，下同）以上，回送段压力控制在－300～400mmHg 左右；

e. 安全阀压力保持在 0.35MPa；

f. 检查干网校正器工作情况，谨防干网跑偏，检查传动侧汽头是否串汽或排水停滞，严重时及时停机处理；

g. 经常密切注意操作台上的仪表显示及报警信号。

5.5.2.4 压光岗位

（1）开机前的检查与准备

① 与上下工序联系，检查本部电器及设备，用压缩空气吹净压光辊面，取走顶辊承壳间前后放置的垫块，将顶辊加压切换开关打至“卸压”此时卸压气簧压力不得大于 139kPa，加压气簧为“0”，底辊打“加压”，气簧压力不得小于 180kPa，注意顶辊不放平、辊不顶上不能启动。

② 调节中高气压至“0”，启动两台液压油泵，同时液压站报警系统开始工作。

③ 辊子刮刀接触，底辊刮刀选择开关置于“1”位做好开机准备工作。

（2）开机顺序

① 启动压光辊和卷取缸，先爬行后加速运转，此时加压切换开关应置于“接触”。

② 打开卷取缸进冷水阀。

③ 检查压光辊刮刀和卷取缸刮刀是否严密，摆动是否正常。

④ 空池启动压光水力碎浆机（注意：正常生产中只需关闭加水阀，不需停机），启动压光冷风机，此时冷风风嘴遥控开关应置于“0”位。把卷取的“生产”切换开关打至“引纸”。启动电源钮，若空纸轴或纸卷直径过小，则可放下引纸导板，帮助带纸，带纸完毕，即可关风嘴，停下真空传送带，抬起带纸导板，把卷取的“引纸/生产”切换开关打至“生产”，关碎纸机水阀。

⑤ 使扫描架进入工作状态“扫描”，根据厚度显示图及棒敲检查松紧情况，及时调整冷风风嘴。一般不要频繁调节压光加压来调节松紧，若横幅定量相差很大，则应通知班长或放料工调整。

（3）停机顺序

① 中高控制液压调至“0”。

② 停冷风机。

③ 停液压泵。

④ 停压光机、卷取缸，关闭卷取缸冷水阀。

⑤ 脱开辊子刮刀。

⑥ 把辊子加压切换开关打至“接触”，如较长时间停机，则脱开辊子间接触，提升上辊、中间辊后，在轴承壳上放置垫块，放下底辊。

⑦ 待水力碎浆机池中浆料送完后，停下碎纸机。

(4) 运行中注意事项与一般事故处理

① 开机前要将辊面清洁干净，且不得长时间无纸空运行。

② 运转中不许用手触摸辊子及刮刀，用小铁铲清洁压光辊面时必须在辊子出口进行。

③ 出干燥成纸水分太大或定量过高（水分大于7%～8%，定量大于60g/m^2）不准带压光机；正常生产中若发现纸页水分过大或定量过高，应打断，等调节正常后再带纸，若缠在辊上的纸较多，应停下处理。

④ 压光机断纸，应及时断纸，防止刮刀不严缠纸，损坏压光机。

⑤ 压光机在运转时不得将顶辊、中间辊提升或将底辊落下。

⑥ 不得用冷水或蒸汽喷射压光机压辊，以免造成温度突变而损坏辊子。

⑦ 不得用尖锐硬物刮磨压光辊面和转动弧形辊面；若纸缠在弧形辊上，应用手扒开，严防高温和明火作业。

⑧ 不准因压光松紧问题而随意缩小抄宽。

⑨ 应防止中间辊热水温度过高（正常范围60～70℃）。

⑩ 若松紧不好，应先查明原因，不准使用加热器或采用吹冷风办法长时间对某部位置进行调节。

⑪ 扫描传感器放射源打开后（红灯亮），不得进入扫描区内，严禁任何人敲击“O”形架，吊装时注意不要碰撞。

⑫ 卷取引纸导板只有在小叉架处于最低位置或者小叉架上无纸轴情况下放下使用，同时在引纸导板放下时，不准吊纸轴到小叉架上，完成引纸后，应立即抬起。

⑬ 纸卷直径不得超过2000mm（纸轴总重不超过10t）。

⑭ 下纸时，纸轴停止旋转后，才能起吊纸轴，不准悬空吊放，不准重叠堆放，必须遵守15t吊车安全规程。

⑮ 打损纸时，必须用竹竿或铝管推入机内，严禁脚蹬，严防铁片、木块落入，另外损纸加入量一次不能过多，连续加入损纸时间不能过长。

⑯ 下碎纸机捞什物，必须通知电工切断电源，并挂上安全牌。

⑰ 生产中应随时注意纸卷松紧情况及抄宽是否符合工艺要求，压光加压是否符合工艺要求。

⑱ 生产中若发现压光机启动不了，可能原因有无润滑油、高压油油位过高、高压过低。

⑲ 正常生产中要求底辊处断纸，可按下压光快速拉紧按钮，即可通过张力辊断纸。

⑳ 若张力辊处出现堵纸或碎纸机堵塞，或其他故障一时无法克服时，则可在操作台上手动按下“压榨吹断纸”按钮，使压榨部自行断纸。

5.5.3 2号生产线浆料准备岗位

5.5.3.1 打浆工序

(1) 侧压浓缩机［在控制画面（一）STOCK PREPARATION 1#］

① 进浆阀 HV-156HV-157 的控制

a. 当阀 HV-156HV-157“手动/自动”开关置于“手动”位置时，操作者任意开此阀，无任何连锁。

b. 当阀 HV-156HV-157“手动/自动”开关置于“自动”位置时，此阀将按如下程序自动操作：

当 1# 池液位低于 30%（自 LIA-111）阀 HV-156 将开启，当 2# 池液位低 30%（自 LIA-112）阀 HV-157 将开启；

当 1# 池液位高于 95%（自 LIA-111）时，阀 HV-156 自动关闭，当 2# 池液高于 95%（自 LIA-112 高报警）时，阀 HV-157 自动关闭；

每个阀配有两个行程开关，用来检测阀是否全开或全关，若行程开关在 30s 后反应，则 DCS 在屏幕上报警。

② 侧压浓缩机的开、停机操作。说明：

WPT 木浆侧压浓缩机；

RPT 苇浆侧压浓缩机；

HV-156 化木浆进浆阀；

HV-157 化苇浆进浆阀。

a. 开机

启动前，先检查设备周围是否安全，无问题方可开机，并将阀 HV-156 选择开关置于“手动”位置，将浓缩机电机“就地/遥控”开关置于“就地”，检查排污口是否关闭。

调至 DES 控制画面（一）——STOCK PREAPATION 1#，根据 LI-111（LI-11❶ 检查 1# 池（2# 池）液位，当其在 70%以下时，1#（2#）侧压浓缩机才能启动（有连锁）。

手动打开喷网水、网笼上部网边湿润水。

就地启动转鼓电机，如电机开关置于“就地”位，则在控制柜上启动转鼓，并打开摇控。

电话联系化木浆（化苇浆）车间送浆，当进浆阀开关置于手动位置时，还要开浆阀。

根据要求的浓度调节好白水或清水量，调节好压辊及刮刀压力。

b. 停机

电话联系停止送浆。

待网槽内浆料脱完后，用清水冲洗干净，就地停下转鼓电机。

关闭所有清水阀和白水阀。

c. 注意事项及补充说明

要注意来浆浓度，尤其不能浓度太小，要及时调节，为后面的浓度调节器创造条件。

要经常检查网笼的密封胶圈的状况和网子状况，防止漏浆（尽量用白水稀释）增加脱水效果。

WPTRRT 的进浆管上分别有流量显示，可估计来浆情况（自 LIT-135 、LIT-136），通过 HV-156、HV-157 只能开关，调节进浆量要靠手动阀控制。

❶ 括号内表示 RPT 与 WPT 的不同之处。

正常生产中，短时间停止脱水时，不需停下转鼓，关掉各水阀即可。

一旦转鼓卡死，处理时要防止压手，先用清水冲，不行要切断电源处理，当启动皮带时，要防止压手。

要用碱洗网子时，要穿戴好必要的防护用品，防止灼伤，防止浆管道串浆造成浓缩机卡浆。选择开关宜打在“手动”位，方便操作及处理卡浆故障。

打浆板时的倒阀操作及特殊情况下的旁通要视流程情况相应操作。注意调节胶辊与网笼之间的间距，使两端间隙保持一致。调节方法：可通过胶辊压杆调节螺杆间距，使胶辊与网笼的间距保持一致。

各池搅拌器均在操作柜上开、停，然后将控制开关置于“遥控”，DCS 上可看开停状态。要经常检查胶辊刮刀，发现卡浆要等停止送浆并停下转鼓后再予以清浆，防止因卡浆造成对胶辊的磨损。

所有电器开关请勿湿手操作。

(2) ϕ450mm 双盘磨［在控制画面（一）STOCKPREPARTION2#］

① 开机

a. 调至 DCS 控制画面（二），检查 12# 损纸塔液位（LI-120 显示）情况，调出 DC 控制画面（三）检查 7# 池液位（LI-117 显示）情况，当 12# 损纸塔液位高于 30%且液位低于 70%时，进浆泵 P12 才可启动。

b. 检查轴承的加油状况，检查设备是否处于退刀位置，将电机“就地/遥控”开于“就地”位。长时间停机，要找钳工、电工检查确定正常后方可开机。

c. 确定符合条件后，打开双盘磨的白水或清水阀。

d. 就地启动双盘磨，正常运转后，将开关置于“遥控”位置，（也可在 DCS 控制（二）上启动，由于要就地开清、白水阀和进刀，最好先就地启动，再将开关置于“遥控”（进入 DCS 监视）。

e. 当纤维疏解机也启动后，在 DCS 控制画面（三）上启动 P12（假设其升于“遥控”位，否则要就地启动 P12）。

② 停机

a. 先按“自动退刀”按钮后，手动退刀。

b. 打开双盘磨上的清水阀，串洗盘磨及管道。

c. 在 DCS 控制画面（三）上按软按钮停 P12。

d. 在控制柜上将“就地/遥控”开关转“遥控”位。

e. 停机后定期检查浆管是否堵塞，磨片是否需要更换。

f. 注意 P12 的开机和运行联锁条件，见表 5-6。

5.5.3.2 配浆工序［在控制画面（三）］

(1) 配比的控制 假设：

① P4 的化木浆流量（FI-132 测量）为 Q_4，浓度为 C_4（CT-121），配比为 KWP（硫酸盐木浆）；

② P5 的化苇浆流量（FI-131 测量）为 Q_5，浓度为 C_5（CT-122），配比为 KRP（硫酸盐苇浆）；

③ P6 的化机浆流量（FI-130 测量）为 Q_6，浓度为 C_6（CT-123），配比为 CTMP（化学机械木浆）；

表 5-6　P12 开机和运行联锁条件

浆(水)池	名　称	控制画面	控制/显示	高报警	低报警
T1	未叩浆池	(一)	LIA-111	H:85 HH:95	L:15 LL:5
T2	未叩苇浆池	(一)	LIA-112	H:85 HH:95	L:15 LL:5
T3	未叩化机浆池	(一)	LIA-113	H:85 HH:95	L:15 LL:5
T4	已叩木浆池	(一)	LIA-114	H:85 HH:95	L:15 LL:5
T5	已叩苇浆池	(一)	LIA-115	H:85 HH:95	L:15 LL:5
T6	已叩化机浆池	(一)	LIA-116	H:85 HH:95	L:15 LL:5
T7	疏解后损纸池	(三)	LIA-117	H:85 HH:95	L:15 LL:5
T9	配浆池	(三)	L1A-118	H:85 HH:95	L:15 LL:5
T13	1#损纸浆塔	(三)	LIA-119	H:85 HH:95	L:15 LL:5
T12	2#损纸浆塔	(三)	LIA-120	H:85 HH:95	L:15 LL:5
T8	成浆池	(二)	LIA-121	H:85 HH:95	L:15 LL:5
T38	滤后白水池	(六)	LIA-201	H:85 HH:95	L:15 LL:5

④ P7 的损纸浆流量（FI-129 测量）为 Q_7，浓度为 C_7（CT-129），配比为 KBP（损纸源自浆）。

测量：KWP，KRP，CTMP，KBP，$Q_4 \cdot C_4$，$Q_5 \cdot C_5$，$Q_6 \cdot C_6$，$Q_7 \cdot C_7$

KWP+KRP+CTMP=100%

在 DCS 操作站屏幕上有专门的配比设置界面供操作设置配比，我们把化木浆的流量作为主参数，交由 T9 的液位来调节，其他浆的流量作为副参数，其相应的给定值与实测的化木浆的流量成比例关系，如果主参数相应的泵未运行，则其对应的阀的开度为零。

(2) 配浆程序启动

① 将 P4、P5、P6、P7、N1、P12、P13、STP1 或 STP2 的“就地/遥控”开关置于“遥控”位置。

② 调出控制面画（三）检查 4#池（LI-114 显示）、5#池（LI-115 显示），6#池（LI-116 显示），9#池（LI-118 显示）的液位情况，是否完全满足下列条件。

a. 4#池液位不低于 30cm；

b. 5#池液位不低于 30cm；

c. 6#池液位不低于 30cm；

d. 9#池液位不高于 70cm。

③ 如果上述四个条件全满足，则在控制画面（三）上按“配浆开始”钮，启动配浆程序。配浆程序开始后，P4 立即运行，P5 和 P6 将在 30s（可调）后投运，淀粉泵 STP1 或 STP2 将在 30s 后投运，填料阀 FIC-133 也将在 30s 后开启。

④ 湿损纸回收浆的配用，根据生产情况和 T13、T10 液位情况在控制画面上启动 P3、

P10。流量大小分别由 FIC-159 控制，n-137 显示。

⑤ 视情况当配浆程序正运行且 7# 池液位不低于 30%，屏幕上启动 P7。

(3) 配浆程序的停止

① 按操作站屏幕上“配浆结束”钮，则配浆程序结束。

② 若 P4、P5、P6 未能及时运行，则配浆程序自动停止。

③ 若下列条件中至少有一个满足，即 4# 池液位“低低”；5# 池液位“低低”；6# 池液位“低低”；9# 池液位“高高”。则配浆程序自动停止。

④ P7 在配浆程序停止或 7# 池液位“低低”时自动停止，如果不配干损纸浆且配浆程序正进行时，可在控制画面（三）上停下 P7。

(4) 配浆操作

① 开机

a. 先检查管道配浆操作的各项开机条件是否具备，所属范围设备是否完好、完全。接开机通知，提前 120min 通知打浆岗位打浆。

b. 提前 30min 做好配浆准备，启动有关搅拌器，在 DCS 操作站屏幕上按下“配浆开始”按钮，进行配浆。

c. 在控制画面（三）上，通过 FIC-138 控制好填料的流量，即根据工艺条件设定相应车速（产量）下的流量值。

d. 根据工艺条件调整淀粉泵 STP1/STP2 的转速。

e. 根据实际情况启动 P7 或 P10 或 P13，也可以根据实际情况在配比设置面上增大或减小 KBP。

f. 接放料信号后，先根据均整机的操作规程（参照打浆机操作规程），在控制柜上启动均整机，然后开启浆泵 P8（注意 P8 的开机和运行条件），联系辅料岗位并启动助流剂泵 TRP1/TRP2 和 AKD 中性胶。

g. 生产中要密切注意 8# 池液位情况，以免 P8 跳闸，及时配浆，不得断浆，并检查均整机进刀量。

② 停机

a. 接纸机停机信号后，应停下成浆泵 P8，通知辅料停 TRP1/TRP2，停 NSP2。

b. 在控制柜上，停下均整机 VRF（参照打浆机 RF 的操作）。

c. 如果长时间停机，要提前停止配浆，9# 池、8# 池空池（5%以下）后要清洗并排污。

③ 注意事项

a. 本部控制较复杂，操作面广，要加强上下岗位的联系，提高责任心，操作时不要出现差错。

b. 特殊情况下的配浆，可手动操作，如损纸浆较多时，将 P4、P7 的“就地/遥控”开关打到“就地”位，就地启动 P4、P7 按工艺要求控制好配比及辅料加入量。其他泵均可就地操作。

c. 运行中，要检查各设备运行状态，均整机电机为 6000V 高压电机，要注意其温度和电流（DCS 上有显示）。

d. 经常和化验室及纸机岗位联系，督促打浆岗位保证上网浆质量，如：叩解度、湿重、pH 值、灰分、施胶度等。

e. 经常检查 P8 的运行连锁条件是否具备，防止 P8 连锁跳闸。

第 6 章　制浆造纸设备的后期管理

6.1　制浆造纸设备的检修

检修，就是为保持或恢复设备完成规定功能的能力而采取的技术和管理措施，包括维护和修理。其目标是以最经济合理的费用（包括修理费、运行费和停产损失费等）使设备经常维持良好的性能，保证生产上有效地使用设备，从而实现企业的经营目标。

检修的原则如下。

（1）以预防为主，维护保养与计划检修并用　维护保养与计划检修工作都是贯彻“预防为主”方针的重要手段。因此要做好设备维修工作，必须贯彻这一原则。维护保养与计划检修彼此又是相辅相成的。设备维护保养得好，能延长修理周期，减少修理工作量；设备计划检修得好，维护保养也就容易。

（2）以生产为主，维修为生产服务　生产活动是企业的主要活动，维修必须树立为生产服务的观念。但企业不能为了生产而忽视维修工作，因为设备是企业进行生产的重要物质基础，只有妥善保护，使设备经常处于完好状态，生产才能正常进行。如果片面强调当前的生产任务而使设备处于“驴不死不下磨”的状态，就会造成损坏。这种不考虑长远利益的做法，不能算是以生产为主的观点。企业必须处理好生产与维修的关系，当设备确定需要修理时，生产部门就得与维修部门密切配合，在安排生产计划的同时，安排好维修计划。维修部门则需在保证检修质量的条件下，尽量缩短停机时间，使生产不受或少受影响。

（3）专业修理和群众修理相结合，以专业修理为主　专业检修人员懂得设备的结构，掌握修理技术和手段，但不了解设备在运行中的“性格、脾气”；操作工人天天操作设备，非常了解设备的“性格、脾气”，但不熟悉设备的结构原理和修理技术。因此维修工作必须专群结合，取长补短。要形成专管成线，群管成网的管理方法。但专业人员必须发挥主导作用。

（4）勤俭节约，修旧利废　在保证设备维修质量和有利于技术进步的前提下，要开源节流，少花钱多办事，努力降低维修费用。例如，推行维修工作中的十二字经验（焊、补，喷、镀、铆、镶、配、改、校、涨、缩、粘）解决配件问题。

6.2　制浆造纸设备故障管理

设备或系统在使用过程中，因某种原因丧失了规定功能或降低了效能而造成停机时，称为设备故障。设备故障包括设备事故，但是两者又有所区别，主要视其造成的原因和损失大小而划分，由非正常原因造成损坏、停产或降低设备效能且损失较大者（一般企业有具体限额规定）称设备事故。由于设计制造质量、安装调整、操作、维修水平、自然磨损等造成的停机且损失较小者称为设备故障。

（1）设备故障的分类　可根据设备丧失工作能力的程度，从故障发生状况、故障原因、维修复杂性、安全性、经济性等方面进行分类。

① 按故障发生状态分类有突发性故障；渐发性故障。

② 按故障发生的原因分类有设备固有的薄弱性故障；操作与维护不良的故障；磨损性故障。

③ 按故障持续时间的长短分类有间断性故障；永久性故障。

④ 按故障的危险程度分类有安全性故障；危险性故障。

⑤ 按故障造成功能丧失的程度分类有完全性故障；部分性故障。

(2) 设备故障管理　实行设备故障全过程的管理是为了全面掌握设备状态，搞好设备维修，最终在设备使用周期内，不断减少故障或部分消灭故障不断改善和提高设备性能；必须对设备故障进行全过程的管理。全过程管理的内容包括：故障信息的收集、储存、统计管理，故障分析，故障处理，计划实施，效果评价及信息反馈（使用单位内部反馈及向设备的设计、制造单位反馈）。故障管理可为开展设备故障机理和设备可靠性、维修性的研究提供数据信息，为改造在用设备，提高其性能和利用率，为提高换代产品质量提供依据。

① 故障信息的收集

a. 收集方式。直接观察或采用检测设备来收集故障信息。

b. 收集故障信息的内容。包括：故障时间、故障现象、故障部位、故障性质、故障处理、故障原因包括：设备设计、制造、安装中存在的缺陷；材料缺陷或材料选用不当；使用过程中的磨损、变形、疲劳、振动、腐蚀、变质、堵塞等；维护、润滑不良，调整不当，操作失损，过载使用，长期失修或修理质量不高等；环境因素及其他原因。

② 故障信息的统计

a. 按单台设备编号统计故障次数、停机时间。

b. 按故障性质（或部位）统计设备名称、故障总次数及停机总时间。

c. 按重点设备统计故障总次数和停机总时间。

d. 按修理者统计修理次数及工时。

e. 按生产车间全面统计设备故障分析表（按周、月、季、年）。

f. 按各生产线统计机械、电器故障、停机次数和修理时间，打印输出汇总表。

g. 统计打印输出单台设备的平均无故障工作时间 MTBF、平均修理时间 R，为维修性设计、设备改造提供依据。

③ 故障分析

a. 故障频率和故障强度率分析。设备单位运转台时发生的故障台次数称为故障频率，其表达式为

$$\text{故障频率}=\frac{\text{设备故障停机台次}}{\text{设备实际运转台时}}\times 100\% \tag{6-1}$$

式（6-1）反映某段时间内，故障发生的次数，即故障的发展趋势。但并不反映故障停机时间的长短，通常以单位运转台时的故障停机小时表示停机时间长短，称故障强度率，其表达式为

$$\text{故障强度率}=\frac{\text{设备故障停机小时}}{\text{设备实际运转台时}}\times 100\% \tag{6-2}$$

b. 故障部位分析。将设备易发生故障的部位以百分比作图。

c. 故障原因分析。造成故障的原因是多方面的，通过对故障信息的统计归纳找出规律，只能了解整个生产单位的设备在某一时期内的状态、各个设备出现故障的频率和时间。至于各种故障的性质、产生原因则是复杂的，只有对每一个具体故障机理的分析、研究，找出导

致故障产生的根本原因，才能判断外部环境对故障的影响，故障宏观规律的研究才有可靠的保证。因此，故障微观机理的研究是十分重要的，它是有效排除故障，提高设备素质的基础。

故障原因查找时，先按大类划分，再层层细分，直到找出主要原因，采取有效措施加以解决。如采用故障因果图的方法，按大类分成生产方面、维修方面、操作方面、备件方面、设备本身质量方面等。在每一大类中又可细分为制造不良、操作不当、加工精度差、处理质量差等。

④ 故障处理。是在故障分析的基础上，根据故障原因和性质提出对策，暂时的或较长时间地排除故障，对不同的故障选择不同的对策。

重复性故障采取项目修理、改装或改造的方法提高局部（故障部位）的精度，改善整机的性能。

对多发性故障，视设备故障的严重程度，采取大修、更新或报废的方法。对于设计、制造、安装质量不高、选购不当等先天不足的设备，应采取技术改造或更换元器件的办法。

因操作失误、维护不良等引起的故障应由生产车间负责培训、教育工作，提高操作人员素质来解决。因修理质量不高引起的故障，应加强维修人员的培训，重新设计、制造维修工具，加强维修工的经济考核调动其积极性等。

总之，在故障处理的问题上，不能有权宜之计的思想，尽量采用技术上的和管理上的措施根除故障，使设备经常处于良好状态。

⑤ 成果评价与信息反馈。对故障管理成果的评价，带有总结性质。管理人员认识的局限性、分析问题的客观性，分析故障时缺乏必要的手段、素材以及资料的准确性，处理故障时缺乏足够的时间等均会影响故障处理的质量。有些紧急修理的故障属于抢修性质，在短时间内不可能修好，在总结评定时，应进一步安排修理计划，彻底消除隐患。对已经妥善处理的故障，应填写成果登记表，并将此信息收集起来，输入计算机，作为故障全过程管理的信息之一加以保存，为开展可靠性维修性研究提供依据，为设备的选型、购买提供参考资料。

6.3 设备的事故管理

（1）设备事故的类别　设备事故分为一般事故、重大事故和特大事故三类，设备事故的分类标准由国务院及其所属行业、交通等部门确定。

① 一般事故。修复费用一般设备在500～1000元、精、大、稀及制浆造纸关键设备在1000～30000元；或因设备事故造成全厂供电中断10～30min者为一般事故。

② 重大事故。修复费用一般设备达10000元以上、关键设备及精、大、稀设备达30000元以上；或因事故而使全厂电力供应中断30min以上者为重大事故。

③ 特大事故。修复费用达50万元以上；或由于事故造成全厂停产两天以上，车间停产一周以上者为特大事故。

（2）设备事故的性质　设备事故的性质按造成事故的原因来划分，可分为以下三类。

① 责任事故。指由人为原因引起的设备事故。如违反操作维护规程、超负荷运转、擅离工作岗位、加工工艺不合理以及维护修理不良等。

② 质量事故。指因原设计、制造、安装等原因发生的事故。

③ 自然事故。指因遭受外界因素、自然灾害等原因发生的事故。

（3）设备事故分析和处理　企业发生设备事故后，应按上级有关设备管理制度的规定及

时报告，并及时组织有关人员根据“三不放过”的原则（事故原因分析不清不放过，事故责任者与群众未受到教育不放过，没有防范措施不放过），进行调查分析、严肃处理，从中吸取经验教训。

① 设备事故分析的基本要求。一般事故可由事故单位主管负责人组织有关人员，在设备管理部门参加下，分析事故原因。

a. 事故分析工作要及时，工作进行得越早，原始资料越多，分析原因和提出防范措施的根据就越充分，要保存好分析的原始证据。

b. 不要破坏现场，不要移动或接触事故部位的表面，以免妨碍事故分析工作。

c. 要仔细察看现场，做好详细记录和摄影。

d. 如需拆卸事故的部件时，要避免使零件再次产生新的伤痕或变形等情况。

e. 在分析事故时，除注意事故部位外，还应详细了解周围的环境，并多访问有关人员，以便获得真实的情况。

f. 分析事故时，不能凭主观定案，要根据调查情况与测定的数据，进行详细的分析后，再做出结论。

② 设备事故处理。发生事故的单位，应在事故后三日内认真填写事故报告单，报送设备管理部门。一般事故报告单由设备管理部门签署处理意见。重大事故及特大事故则由厂主管领导批示。特大事故发生后，应报告上级主管部门，听候上级处理指示。重大事故应在季报表内附上处理结果上报。

设备事故经分析处理并修复后，应按规定填写维修记录，由车间机械员负责计算实际损失，记录设备事故报告损失栏，报送设备管理部门。企业发生的各种设备事故，设备管理部门每季度应统计上报，并记入历年设备事故登记册内。

制浆造纸设备事故报告单，见表 6-1。

表 6-1　制浆造纸设备事故报告单

<table>
<tr><td>设备编号</td><td colspan="2"></td><td>事故地点</td><td></td></tr>
<tr><td>设备名称</td><td colspan="2"></td><td>事故发生时间</td><td></td></tr>
<tr><td>规格型号</td><td colspan="2"></td><td>损坏部位</td><td></td></tr>
<tr><td>事故类别</td><td colspan="2"></td><td>事故责任者</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="5">事故经过及造成主要原因：</td></tr>
<tr><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td rowspan="3">事故损失</td><td colspan="4">总计损失：　　元</td></tr>
<tr><td rowspan="2">其中：</td><td colspan="3">1. 修理费用　　元；　　2. 减产折算损失　　元；</td></tr>
<tr><td colspan="3">3. 减产产品名称及数量　　吨；　4. 停机时间　　小时。</td></tr>
<tr><td colspan="5">今后防止的具体措施：</td></tr>
</table>

续表

班组意见： 年 月 日
车间意见： 年 月 日
设备动力部门意见： 年 月 日
厂部处理意见： 年 月 日

制表人： 年 月 日

(4) 设备事故损失计算

① 修复费用的计算

$$\text{修复费(元)} = \text{材料费(元)} + \text{备件费(元)} + \text{工具辅材费(元)} + \text{工时费} \tag{6-3}$$

② 停产损失费用的计算

$$\text{停产损失费(元)} = \text{停机小时} \times \text{每小时生产成本费用(元)} \tag{6-4}$$

③ 事故损失费用的计算

$$\text{事故损失费(元)} = \text{停产损失费(元)} + \text{修复费(元)} \tag{6-5}$$

④ 停产和修理时间的计算

停产时间：从设备发生事故停工时起，到修复后投入使用时为止。

修理时间：从动工修理起到全部修完交付生产使用时为止。

6.4 制浆造纸设备的检修方式和体制

6.4.1 检修的基本方式及其选择

(1) 检修的四种基本方式

① 事后维修 (break-down maintenance，BM)。设备在发生故障或性能下降到合格水平以下时采取的非计划维修方式。

② 预防维修 (preventive maintenance，PM)

a. 定期维修 (periodic maintenance)。这种方式强调以预防为主，在设备使用时，做好维护保养，加强检查，在设备尚未发生故障前就进行修理。

b. 定时维修 (age-based maintenance，ABM)，它是当设备运行到达预定的累计工作时数后，进行的预防性维修。这种维修方式适用于一旦发生事故将有严重后果的设备中。例如飞机发动机，当运行累计到规定的工作时数后，即应全部翻修。

c. 改善维修 (corrective maintenance，CM)。改善维修是为消除设备的先天性缺陷或频发故障，对设备经常出故障的部位采用改进结构设计，或改善材料素质等手段，以提高其可

靠性和维修性的措施。

③ 状态监测维修（condition-bascd maintenance，CBM）简称状态维修或监测维修。这种维修方式不规定修理间隔期，而是根据设备监测技术和诊断技术监测设备有无劣化和故障，在必要时刻进行必要的维修，由于它对设备修理时机掌握及时，所以既有事后维修与定期维修的优点，又避免了两者的缺点，是一种较理想的维修方式。

但它在进行状态监测中要花费一定的费用，故适用于利用率高且状态监测费用不太大的重要设备，如精、大、稀和流水线生产中的主要设备。这种维修方式在使用上尚有局限性，即只能用于故障有可观测的状态发展过程的零部件上。

④ 无维修设计（design-out maintenance，DOM）。除以上四种基本维修方式外，尚有一种普遍采用的维修方式，称为时机维修（opportunity maintenance，OM），这是指在进行事后维修、定期维修或监测维修的同时，在原定项目之外顺便安排的修理任务。这种修理方式特别适用于很难更换零部件或需连续运行、停机损失又相当大的项目。

（2）检修方式的选择　为了提高维修的技术质量和经济性、就有必要对各种设备或部件做出最佳维修方式的选择。

① 影响维修方式选择的因素很多，主要有以下三方面。

a. 设备（或部件）因素。主要指它的故障特性（如故障类型、故障模式、平均寿命等）和维修特性（如易更换性、平均修理时间等）两方面。

b. 经济因素。包括故障停机损失，定期更换费用，备品配件储存费用，修理材料费用和人工费用、监测费用等。

c. 安全因素。指故障对人身安全、环保卫生等方面的影响程度。

② 故障性质对维修方式选择的影响。故障模式主要有以下几种。

a. 随机型故障。故障发生的时间无规律、不可预测，如超载故障、误操作故障等。

b. 劣化型（或寿命型）。这是指性能渐渐劣化而发生的故障。故障的发生与工作时间长短有关，如轮胎磨损、轴承磨损等。

c. 可观测的故障。在故障发生前有一个可以观测的状态发展过程，通常可以实施状态监测，如内燃机气缸磨损、轴承磨损等。

d. 不可观测的故障。这种故障没明显的状态发展过程，无法实施状态监测，也没有预防维修的措施。如轮胎内胎的破坏、电子仪器的某些故障等。

根据以上的分析，可归纳出如下的直观结论。

a. 对劣化型故障的零部件来说，如更换容易，且维修费用低，最适用定期维修方式。

b. 对故障发生前有一个可以观测的状态发展过程的零部件来说，如更换难，且维修费用高，可采用监测维修。

c. 对维修费用很高的零部件，不管更换难易，都应考虑无维修设计。

d. 对不能或不必要进行预防维修或无维修设计的零部件，可采用事后维修方式。

e. 对频频发生故障的零部件，则需采用改善维修。

6.4.2　制浆造纸设备的维修管理制度

（1）现行的的几种维修方式　目前我国制浆造纸设备的维修管理制度长期执行的主要是前苏联的计划预修理制度，这套体制对设备管理影响极大。自从引进了美国的生产维修制、英国的设备综合工程学以及日本的 TPM 制度以来，尤其是 TPM 对制浆造纸设备管理影响很大，推进了设备管理向现代化方面迈进。

图 6-1 所示是制浆造纸行业中所普遍采用的几种维修方式。

图中的预防维修是指以时间为基准的维修方式，即定期维修，其内容包括维护与检修，检修部分的修理分为大修理（简称大修）、中修理（简称中修）、项目修理（简称项修，又称针对性修理）、小修理（简称小修）、年修理、定期检修。

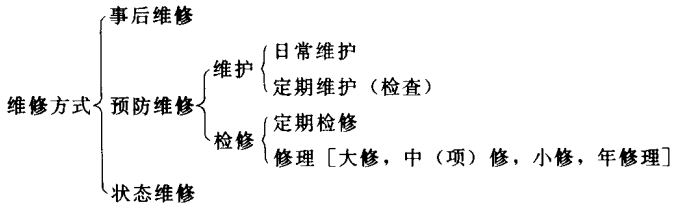


图 6-1 现行的几种维修方式

其中年修理指除某些设备仍需采用大、中（项）、小修外，制浆造纸设备由于生产是每天 24h 连续运行的，不允许稍微中断，不允许发生故障停机，也就是要求有高度的可靠性。因此，对这种系统的装置设备需要在连续运行一年（约 7000h）进行一次年修理，称为装置停车大检修（简称年修理）。它是指对装置中的大部分主要设备同时进行大、中（项）修理。其工作内容包括对装置中的大部分主要设备和管件进行全面清洗、吹灰、除垢、检查、检测及零部件修理或更换。

定期检修是指根据日常点检和定期检查中发现的问题，拆卸有关的零部件，进行检查、调整，更换或修复失效的零件，以恢复设备的正常功能。其工作内容介于二级保养与小修之间。由于比较切合实际，目前已逐渐取代二级保养与小修。

（2）制浆造纸设备使用维护的特殊要求　造纸行业的大、精、稀设备如超级压光机、日产百吨以上的造纸机、木片盘磨机、ϕ3350mm 削片机、大型蒸煮器等设备使用维护的特殊要求。

① 必须定期检查设备的安装基础和安装水平及腐蚀状况，一般情况下至少一年一次，若发现问题应及时处理，以防设备损坏。

② 新安装和封存启用的设备，在使用前必须彻底清洗和擦拭，对润滑、动力、管道等管线保持清洁。

③ 必须按润滑卡片或润滑图表规定润滑设备。

④ 凡是多人操作的设备，必须选出机台班长（或机长），专人负责，加强保养，统一指挥，其他人员必须密切配合。

⑤ 检修时如装卸零部件，应有专人指挥，防止碰伤设备，造成事故。

⑥ 故障检查和一级、二级保养，一般不应拆卸解体的部分，尽量不要拆卸解体。

⑦ 在工作完毕后，应将活动部件返回合理部位，以免设备长期受力变形。

⑧ 受压容器及起重设备，按国家劳动总局规定的有关规范执行。

6.4.3 制浆造纸机械设备修理的各种定额安排

见表 6-2～表 6-12。

表 6-2 制浆造纸厂动力设备（炉）修理工时定额

修理类别	二保	中修	大修	修理类别	二保	中修	大修
炉钳、管工	10	32	58	其他	2	14	20
机工		4	7	合计	12	50	85

表 6-3　制浆造纸机械设备修理工时定额

修理类别	钳 工	机 工	其 他	合 计	修理类别	钳 工	机 工	其 他	合 计
一保	1.5	0.5		2	中修	32	16	2	50
二保	7	4	1	12	大修	48	32	5	85

注：1. 造纸机械设备的修理工时定额，一律按五级工工时计算。但精密设备修理工时定额应按六级工工时计算。

2. 表内的工时定额是在规定的修理内容和精密检验标准以及在一般的条件下，进行修理的定额。遇有恢复性的或提高设备原有精度和技术性能的修理工作，应按工作量另加工时。

3. 定额不包括外购标准件制造的工时。

4. 机工工时定额包括机修车间或维修工段制造配、备件和外协作件的工时。

5. 设备制造质量比一般设备质量有显著的优劣时，经鉴定后可以适当增减钳工工时定额，实际使用期限超过 20 年的设备，钳工工时定额可增加 10%，视检修条件可增减 10%～15%。

6. 钳工工时不包括辅助工时，如设备的运输等。造纸机械以钳工工时为主来计算。

7. 其他工时包括少量的补焊、白铁、涂料防腐等工时，而不包括木模、铸、锻和热处理工时。

8. 表中定额也适用动力机械设备。

表 6-4　塔、容器（锅）等化工设备修理工时定额

修理类别	钳工	机工	其他	合计	修理类别	钳工	机工	其他	合计
一保	0.5	0.2	1.3	2	中修	12	8	30	50
二保	3	2	7	12	大修	18	16	51	85

注：1. 表中的修理工时定额，一律以五级工工时计算。

2. 工时包括铆焊、管、木、瓦、起重和防腐、涂料等工时。

表 6-5　备料设备维修材料定额/kg・F^{-1}

修理类别	材料名称			修理类别	材料名称		
	黑色铸件	钢材	有色金属		黑色铸件	钢材	有色金属
一保	1	0.5		中修	18	7	0.5
二保	7	2.5	0.2	大修	35	11	1

表 6-6　造纸机维修材料消耗定额/kg・F^{-1}

修理类别	材料名称			修理类别	材料名称		
	黑色铸件	钢材	有色金属		黑色铸件	钢材	有色金属
一保	1	0.3		中修	21	8	1.2
二保	7	2.5	0.5	大修	35	13	2

表 6-7　整饰设备维修材料消耗定额/kg・F^{-1}

修理类别	材料名称			修理类别	材料名称		
	黑色铸件	钢材	有色金属		黑色铸件	钢材	有色金属
一保	0.5	0.2		中修	12	5	0.6
二保	4	1.5	0.2	大修	20	8	1

表 6-8　泵类设备维修材料消耗定额/kg・F^{-1}

修理类别	材料名称			修理类别	材料名称		
	黑色铸件	钢材	有色金属		黑色铸件	钢材	有色金属
一保	1	0.1		中修	22	2.5	3.5
二保	8	0.8	1.2				

表 6-9　金属管道维修材料消耗定额/kg·F^{-1}

修理类别	生产方法						修理类别	生产方法						
	材料名称	碱法			酸法			材料名称	碱法			酸法		
		铸铁管	钢管	不锈钢	铸铁管	钢管	不锈钢		铸铁管	钢管	不锈钢	铸铁管	钢管	不锈钢
二保		4	8	0.1	5	10	5	大修	20	40	1	25	50	20
中修		12	24	0.5	15	30	15							

表 6-10　选源设备维修材料消耗定额/kg·F^{-1}

修理类别	材料名称			修理类别	材料名称		
	黑色铸件	钢材	有色金属		黑色铸件	钢材	有色金属
一保	0.3	0.1		中修	9	4	1
二保	3	1.5	0.1	大修	15	6	1.5

注：1. 表中的修理工时定额，一律以五级工工时计算。

2. 其他工时包括瓦、木、起重等工时。

表 6-11　机械设备停歇定额/d·F^{-1}

检修类别	停歇时间(工作日)	检修类别	停歇时间(工作日)
一保	0.1	中修	1.5
二保	0.5	大修	2.5

表 6-12　锅炉、碱回收炉等热力设备停歇定额/d·F^{-1}

检修类别	停歇时间(工作日)	检修类别	停歇时间(工作日)
二保	0.5	大修	2.5
中修	1.5		

6.5　设备的报废条件和鉴定审批

(1) 设备报废的条件　设备符合下列情况之一者可以提出申请报废。

① 超过使用年限的老、旧设备。其主要结构和部件已严重损坏，不能修复或修复费用大于或接近新置费用者。

② 因自然灾害或事故损坏致无法修复或修复费用过大者。

③ 使用将严重危及安全的设备。经检测检查，发现继续使用将严重危及安全并随时可能引起严重事故，而且无法修复或属不经济不合理的设备。

④ 机型陈旧、效率低、能耗大、影响产品质量、备品配件困难的杂旧设备。

(2) 报废前的鉴定

① 设备报废应组成三结合技术鉴定小组（领导、技术人员、有经验的工人组成），根据使用部门填写的报废申请单（见表 6-13），对设备进行详细的技术鉴定。

② 技术鉴定小组成员应在设备报废申请书（见表 6-14）上填上鉴定意见，并签字。

(3) 审批权限　按现行的有关管理制度规定，设备报废的审批权限，大体是根据设备价格（原值）大小、设备重要程度、企业规模大小来分别规定权限的。如上海某系统规定如下。

表 6-13　制浆造纸固定资产报废申请书

设备名称		安装年限	
设备编号		已用年限	
固定资产编号		原值	
规格型号		已提折旧额	
单位及数量		残值	
报废原因			
使用部门意见		技术鉴定意见	
设备动力部门意见		财务部门意见	
厂长意见：		厂公章： 年　月　日	
主管机关审批意见：		审批机关公章： 年　月　日	

申请单位：　　申请日期：　年　月　日

表 6-14　设备报废技术鉴定书

设备名称		规格型号		
设备编号		单位		
固定资产编号		数量		
制造单位		复杂系数	机	
制造年份			电	
技术鉴定记录				
鉴定结论				
总机械工程师： 年　月　日	技术鉴定者：(设备动力部门) 年　月　日		使用部门机械管理员： 年　月　日	

① 按设备价格与企业规模划分的权限。小型企业单项设备自行批准报废最大权限额 1 万元。中型企业单项设备自行批准报废最大权限额 2 万元。大型企业单项设备自行批准报废最大限额 3 万元。工业公司单项设备批准报废最大权限额 5 万元。工业局单项设备批准报废

最大权限额 10 万元。单项设备报废在 10 万元以上者报市审批。

② 按设备重要程度来划分的权限。部管、局管设备的报废要报部、局批准。

(4) 设备报废后的物资处理与账务处理

① 已批准的报废设备，除对尚可使用的辅机、附件及尚可利用的零部件进行回收利用外，一般不宜再作低价外调使用，以免使被淘汰的落后、效率低、能耗大的设备再次投入社会使用，将来再次申请报废更新（如煤老虎、电老虎设备）。

② 设备报废处理结束，设备部门应做书面分析，随同批准的设备报废申请书，送交财务部门注销账卡。

6.6 设备检修周期与结构的确定

6.6.1 合理确定检查期限

(1) 对重点设备都要制定定期检查的期限，制定的依据一般可参考以下情况。

① 根据制造厂设计书和使用说明书的规定，并吸收有关人员（如操作人员、润滑工人、设备员等）参加，初步定出检查期限。

② 根据设备维修记录分析生产情况（产量、质量）、设备发生故障部位和零部件，进行平均故障间隔期的分析，同时参考其他有关资料，参考检查期限，使之更加合理或更符合实际需要。

③ 按照维修记录进行经济性分析，对设备性能降低后的生产损失，以及所需检查费用和停机检查损失加以比较，按照经济原则全面研究，再进一步修改检查期限。最理想的检查期限是能使所发生故障或设备性能下降所造成的生产损失和检查费用（包括停机检查损失）实现最佳的平衡。

以上所讲是制定检查期限的一般原则和方法，至于某种设备是否要做定期的检查，可用检查系数来确定，检查系数是故障损失费用与检查费用之比。

用公式表示

$$\mathrm{PM}=\frac{D_1(A+C)+D_2B}{EF} \tag{6-6}$$

式中 PM——检查系数；

D_1——年故障次数（根据过去经验或估计）；

D_2——年故障停机台时数；

A——因故障造成的修理费用，元；

B——故障造成的生产损失，元（标准费用）；

C——由于本身故障使其他设备损坏的修理费用，元；

E——PM 活动的平均费用（包括时间和材料），元；

F——年计划 PM 活动次数。

例 6-1 某台造纸设备的 $D_1=3\mathrm{h}$，$D_2=30\mathrm{h}$，每次故障的平均修理费用 $A=500$ 元，标准台时损失费 $B=20$ 元，由于本身故障使其他设备损坏的修理费用 $C=0$（很小略去不计），PM 活动平均费用 $E=250$ 元，年计划 PM 活动次数 $F=4$ 次，则该设备的检查系数为多少？

解 运用上面公式，可以求出某台设备的检查系数 PM

$$\mathrm{PM}=\frac{3\times(500+0)+30\times20}{250\times4}=2.1$$

在对所考虑的每一台设备进行计算后，可按其重要性将设备依次排列。从检查系数最高的设备开始，一直排列到检查系数最低的为止，在此还必须回答两个问题，检查多少设备和所花的资金是否有效。这可通过以下两种方式来回答。

a. 从排列表上最高的开始并累积其检查费用直至它们等于 PM 的总预算为止。到此点以前的设备将包括在检查计划内。

b. 仅对检查系数为 1.5 或高于 1.5 设备进行检查，对检查系数低于 1.5 的设备实行故障后检查。

(2) 以费用损失系数确定设备点检周期　为提高企业设备的利用率及其经济效益，国外有采用所谓以费用损失系数来确定设备合理的点检周期，使损失降到最低值，其原理就是把由于点检所需费用和由于发生故障的损失作为生产成本的要素来考虑，按照故障发生的频率求得最佳的点检周期，见 5.3。

6.6.2　设备修理周期的确定方法

6.6.2.1　*按平均使用寿命确定修理周期*

按照检修记录，整理出各种零部件的实际使用时间，取其平均值并加以分类，按平均使用寿命长短排队编组，最长的平均使用时间就是修理周期，最短的平均使用时间就是修理间隔期，还有介于最长和最短之间的平均使用时间，这些就是确定修理周期结构的依据。

例 6-2　某设备按检修记录有平均寿命为 6 个月左右的易损件，有平均寿命为 2 年的耐用件，有平均寿命为 6 年的耐磨基本件，那么这台设备的修理周期结构如图 6-2 所示。

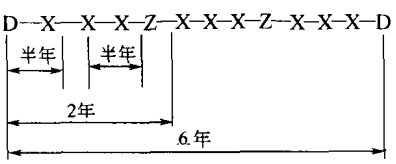


图 6-2　修理周期结构

D—大修；X—小修；Z—中修

即修理周期为 6 年，修理间隔期为 6 个月。在 2 次大修理之间 2 次中修和 9 次小修，大修、中修、小修的比例为 1∶2∶9。

当然这是一种理想的状态，实际中设备零部件的平均寿命往往不止三种，但仍可通过适当的编组，确定比较合理的修理周期结构。已确定的修理周期结构，也可根据生产的需要适当调整。

6.6.2.2　*根据实际开动台时确定修理周期*

一般来说，零件的磨损量随开动台时数的增加而增大，按照实际开动台时数，可计算修理周期和修理间隔期。

(1) 修理周期计算

$$T = \beta\alpha + \tau \tag{6-7}$$

式中　β——修理周期，h；

α——计算总系数；

τ——检修停歇总台时数，$\tau = \tau_{机} + \tau_{电}$，h。

$$\tau_{机} = (D_n t_D + Z_n t_z + 0.75 X_n t_X) iF \tag{6-8}$$

式中　D_n、Z_n、X_n——分别为大修、中修、小修次数；

t_D、t_z、t_X——分别为大修、中修、小修单位停歇时间，h；

i——日停歇台时数，h/d；

F——修理复杂系数。

(2) 修理间隔期计算

$$t=\frac{T}{Z_n+x_n+n_0+1} \tag{6-9}$$

式中 T——修理周期，年；

n_0——定期检查次数。

修理间隔期

$$t=\frac{T}{Z_n+x_n+1} \tag{6-10}$$

（3）周期、间隔期的影响因素 计算总系数表示来自外界各种影响因素的乘积，其公式为

$$\beta=\beta_{特}\ \beta_{维}\ \beta_{使}\ \beta_{质}\ \beta_{重}\ \beta_{其他} \tag{6-11}$$

式中 $\beta_{特}$——生产特效系数，一般取1～1.5，视生产批量大小而定，小批（或单件）生产取1.5，大量生产取1.0；

$\beta_{维}$——维护保养系数即按维护保养状况分较好、一般、较差相应取值1.2～1.3、1.0、0.7～0.9；

$\beta_{使}$——设备使用环境条件影响系数，如有尘烟和潮湿的场所取0.8，正常生产环境取1.0，单独隔间使用取1.4等；

$\beta_{质}$——设备制造质量影响系数，如优取1.2，劣取0.9，一般取1.0；

$\beta_{重}$——设备重型影响系数，大重型取1.35，特重型取1.7。

6.6.2.3 根据经济效果确定修理周期

机械使用的经济效果通常用单位时间平均费用来度量，其费用组成包括折旧费 C_p，燃油、润滑油及其他材料费 C_w，维护保养费 C_m 和大修费 C_r。总费用为

$$C=C_p+C_w+C_m+C_r \tag{6-12}$$

上述费用中，单位时间内的折旧费是一个常数，燃油等材料费等也近似等于一个常数。只有平均单位时间内维护保养费和大修费是随修理周期不同而变化的，设备保养费一般表示为

$$C_m(T)=at^{\alpha} \tag{6-13}$$

式中系数 a 和指数 α 均为常数，与设备本身的结构性能、零件材料和维护有关，其值由统计得出，其中 a 恒大于1。这是因为设备失效率总是随使用时间的延长而增大。因此，一个修理周期内，单位时间平均保养维护费用为

$$C_m(T)=\frac{1}{T}\int_0^T at^{\alpha}\mathrm{d}t=\frac{a}{\alpha+1}T^{\alpha} \tag{6-14}$$

设备大修费用（包括其辅助费用在内）是一次性支出的，设其为 C_R 则单位时间内的平均支出为

$$C_r(T)=\frac{C_R}{T} \tag{6-15}$$

因此，单位时间内平均总费用为

$$C_m=C_p+C_w+\frac{a}{\alpha+1}T^{\alpha}+\frac{C_R}{T} \tag{6-16}$$

将此式对 T 求导，并令其为0，即令 $\frac{\mathrm{d}C}{\mathrm{d}T}=0$

则有

$$\frac{a\alpha}{\alpha+1}T^{\alpha-1}-\frac{C_R}{T}=0 \tag{6-17}$$

所以

$$T_{最佳}=\left[\frac{\alpha+1}{a\alpha}C_R\right]^{\frac{1}{\alpha+1}} \tag{6-18}$$

6.6.2.4 根据最大有效利用率确定修理周期

有效利用率是衡量设备利用程度的参数。定义为“可修产品在某一特定瞬间维持其正常功能的概率”。在一个修理周期内，有效利用率可表示为

$$A=\frac{T}{T+\mathrm{MTTR}} \tag{6-19}$$

式中 T——修理周期内的可能工作时间，年；

MTTR——修理周期内不可能工作时间，或平均修理时间，年，包括对已发生故障的事后修理时间 T_m 和大修时间 T_r。其中大修时间 T_r 可认为是常数（在修理企业中已实行定额管理），用于已发生故障的事后维修时间，与发生失效的累计量有关。

由于设备进入有效寿命的后期，部分零件相继进入故障损耗阶段，其故障率可用 $\beta>1$ 的威布尔分布来描述。

$$\lambda(t)=\frac{\beta}{\alpha}t^{\beta-1} \tag{6-20}$$

而维修时间可认为与故障累计量成正比。因此一个周期内总的事后维修时间为

$$T_m=K_m\int_0^T\frac{\beta}{\alpha}t^{\beta-1}\mathrm{d}t=\frac{1}{\alpha}K_mT^{\beta} \tag{6-21}$$

式中，K_m 为比例常数，表示单位故障维修时间。

于是在一个周期内的有效利用率为

$$A=\frac{T}{T+T_m+T_r}=\frac{T}{T+\frac{1}{\alpha}K_mT^{\beta}+T_r} \tag{6-22}$$

将式（6-22）对 T 求导，并令其为 0，即 $\frac{\mathrm{d}A}{\mathrm{d}T}=0$，可得到

$$T_{最佳}=\left[\frac{\alpha T_r}{(\beta-1)K_m}C_R\right]^{\frac{1}{\beta}} \tag{6-23}$$

由式（6-18）和式（6-23）分别求得的最佳修理周期，通常是不相同的。究竟如何取舍，应按具体情况确定，一般应着眼于经济效果，即根据单位时间费用最小原则来确定，但在工程任务极为紧迫的情况下，以最大有效利用率确定设备的修理周期较合适。

6.6.3 制浆造纸设备的检修周期

一般的制浆造纸设备的检修周期见表 6-15。

表 6-15 制浆造纸设备检修周期

序号	设备名称	大修/a	中修/个月	二保/个月	一保/个月
1	桥式起重机	5	12	3	1
2	门式起重机	5	12	3	1
3	削片机	5	12	3	1/2

续表

序号	设 备 名 称	大修/d	中修/个月	二保/个月	一保/个月
4	切草机	3	12	3～6	1/2～1
5	切苇机	3	6	1	1/4
6	切布机	3	12	3～6	1/2～1
7	切竹机	3	12	3～6	1/2～1
8	羊角除尘器	—	12	3	1/4～1/2
9	链式磨木机	4	12	3	1/2
10	蒸球	6	12	3	1/2
11	蒸煮锅	7	12	3	1
12	喷放锅	10	12	6	1
13	圆网浓缩机	6	12	3～6	1
14	侧压式浓缩机	6	12	3～6	1
15	真空洗浆机	6	12	3	1
16	振框式平筛	6	12	3	1/2
17	CX 型离心筛	6	12	3	1/2
18	旋翼筛	—	12	6	1/2
19	氯化塔、碱化塔、漂白塔	8	12	3	1～2
20	漂浆机	6	12	6	1
21	圆柱精浆机	6	12	3～6	1
22	ϕ450mm 双圆盘磨浆机	4	12	6	1
23	槽式打浆机	5	12	6	1
24	水力碎浆机	4	12	6	1
25	双圆网、双缸造纸机	3～5	12	3～6	1/2～1
26	长网多缸造纸机	3～5	12	1～3	1/4
27	浆板机	5	12	3～6	1/2～1
28	纸板机	5	12	3～6	1/2～1
29	压光机	5	12	6	1/4
30	圆筒卷纸机	5	12	6	1/4
31	复卷机	5	12	3～6	1
32	超级压光机	5	12	3	1
33	盘纸分切机	—	12	6	1
34	切纸机	—	12	6	1
35	40t 液压打包机	6	12	6	1
36	罗茨真空泵	—	12	6	1
37	水环式真空泵	—	12	6	1
38	浆泵	—	12	3	1
39	药液泵	—	6	3	1
40	五效蒸发器	5	12	6	1
41	碱回收喷射炉	见注	6～12	3	1
42	酸法制药沸腾炉	4	12	3	1/4
43	工业锅炉	8	24	12	1～3
44	离心式风机	—	12	6	1

注：碱回收喷射炉大修周期要根据各种不同规格的喷射炉来定。

6.7 设备修理计划的编制和执行

(1) 常用的计划修理方法。

① 检查后修理法。此法是事先只规定设备的检查次数和日期，然后根据检查的结果和以前的修理记录资料，认为需要修理时，再编制修理计划，确定修理类别、日期、内容和工作量。

② 定期修理法。此法是根据设备的实际使用情况和修理定额资料大致确定修理的类别、日期、内容和工作量，从而编制修理计划。至于确切的修理日期、内容等，则需经过修前预检后做适当调整。

③ 标准修理法。此法是根据设备磨损规律和零件的使用寿命，来确定修理类别、日期、内容和工作量，编制修理计划。计划一定出，就必须严格执行。

(2) 检修计划编制的依据：

① 设备的技术状况。

② 生产工艺及产品质量对设备的要求。企业的新产品开发、生产工艺及产品质量对设备的要求是编制检修计划的重要依据。当企业工艺部门认为设备的实际技术状况不能满足工艺要求时，应安排计划修理。此外，根据企业质量管理部门提供的产品质量信息，如工序能力指数（CP 值）应大于或等于 1.33 时，才能保证产品质量的稳定合格。当 CP 值小于 1 时，即表示工序能力不足，需对设备进行精度检查。如精度有问题，就应安排修理。

③ 维修能力的实际情况。要从本企业维修资源（人力、物力、财力）的实际情况出发来制定修理计划，力求达到生产需要和维修资源之间的平衡。

④ 设备的修理周期结构及修理间隔期。如行业规定的修理周期结构及修理间隔期等（如表 6-16）。

⑤ 修前的生产技术准备情况。如订货的主要备件何时可到货等。

表 6-16 制浆造纸设备大修理计划项目

全 页 第 页

序号	设备所属单位及地址	设备编号	设备名称	规格型号	修理复杂系数		修前技术状态	修理内容	要求达到修理质量	计划修理工时					停歇日数	本次大修排列日期	修理费用（千元）	备注
					机	电				合计	其中							
											钳工	机工	电工	其他				

编制单位负责人： 制表人： 年 月 日

(3) 制浆造纸设备修理计划的实施

① 修前准备工作有技术准备、修前生产准备。

② 检修计划的实施。设备检修计划的执行是企业中一项重要的管理工作，为搞好设备维修工作，企业必须设立设备的维修组织机构，并加强对各维修部门的管理，以保证计划的

实现。

工段应组织维修车间机械员、操作工人及有关部门共同进行验收，验收时应按规定的质量标准逐项检查和鉴定修理设备精度、性能及其他要求，待全部达到修理质量标准，并经检查人员签字后，才能正式移交生产。

(4) 缩短修理停机时间的措施　生产与检修最大矛盾之一是修理停机时间。检修既要为生产服务，就应尽力缩短修理停机时间或采取不影响生产的修理方法。缩短停机时间可从多方面着手。首先要注意对检修人员进行思想教育，使他们在思想上重视这项工作。生产线上的设备一旦发生故障，检修工人应立即带上备件及工具赶到进行抢修。其次是要充分做好一切修前准备工作。对即将修理的设备进行预检后，就需详细制定修理计划，准备好各种修理技术文件，备齐更换零件，尤其是对铸、锻件等加工周期长的零件更应早准备。同时还需做好现场修理时的照明、能源等的准备工作。

为了减少生产与检修时间上的矛盾，应设法将检修工人与生产工人的工作时间错开，以便利用生产间隙时间进行修理。对大修理、部分修理以及项目修理等需停机时间较长的，可利用节假日集中力量进行快速修理。对大型设备及某些设备尽可能采取项目修理来代替大修。

此外，还应注意对检修人员进行技术培训，尽量把他们培养成多能工，这是提高检修质量缩短停机时间的重要手段。

缩短修理停机时间还可以采取一些技术措施。

① 应用网络技术来安排修复计划，找出关键路线，并加以调整优化，从而缩短总的修理时间，适用于修理工序多且工作量大的大修理。

② 应用排队论对待检修的工作进行计划安排，尽量缩短拖延时间。

假定有六件独立的检修工作（见表 6-17）等待一个检修作业组处理，现根据不同的目标安排其最优进度表。

表 6-17　六件独立的检修工作的参数

工作	工作持续时间/h	目标完成时间/h	工作	工作持续时间/h	目标完成时间/h
A	11	40	D	3	16
B	7	22	E	8	13
C	6	9	F	21	35

a. 又称为适期进度表。当维修目标要求使最长拖延时间尽可能短时，只要目标完成时间由短到长的次序编排即可。例如表 6-17 所示六件工作在此情况下的最优序列为 C—E—D—B—F—A（见表 6-18），由偏离值可以看到，五件工作会拖期，即工作 E、D、B、F 和 A 分别推迟 1h、2h、10h 和 16h，这些偏离值虽然很大，但按任何其他方法都会使至少有一件工作推迟 16h 或更多，适时进度表对管理人员掌握工程进度是非常有用的。

表 6-18　适期进度表计算实例（全部时间可以小时计）

最优工作序列	C	−E	−D	−B	−F	−A	完工时间	6	14	17	24	45	56
目标时间	9	13	16	22	35	40	偏离值	+3	−1	−1	−2	−10	−16
工作持续时间	6	8	3	7	21	11							

最长工作拖延时间＝16h(工作 A)

b. 最少等候时间。若维修管理者使完成全部工作的总等候时间为最少，和编制适期进度表一样，则只需使各项工作按工作持续时间由短到长顺序排列（见表 6-19）。管理部门可以通过最少等候时间表容易地察觉那些被认为等候时间不能接受的作业。

表 6-19　最少等候时间进度表计算实例（全部时间以小时计）

工作序列	D	C	B	E	A	F	工作序列	D	C	B	E	A	F
工作持续时间	3	6	7	8	11	21	工作等候时间	O	3	9	16	24	35
总的等候时间＝∑工作等候时间＝35h													

③ 采用同步修理法

a. 在设计设备中的易损件时，使其使用寿命相近，以便在同一次修理时将它们同时换掉，减少停机次数。

b. 对连续工作的流程作业设备、自动化流水生产线设备以及联动设备中的主机、辅机及其配套设备等，如果一部分设备发生了故障，就会造成全面停产，给企业带来很大损失。如果将个别设备停下来，依次进行检修，会使损失增加。不如将所有设备都停下来，集中进行检修，并保证到下次检修前设备能正常运行。这种做法称为停产检修，或称为同步修理法。

④ 采用分部修理法。此法是有计划地把设备各相对独立部分分几次进行修理，每次只修一部分，每次都可利用生产间隙时间或节假日进行修理，以保证不影响生产。此法适用于整机修理时间较长，在结构上有独立部件的设备，如组合机床、起重运输机等。

⑤ 采用冗余技术

a. 采用备机。即在一群类似机器中多备一台。当其中有一台修理时，即可将备机投入生产，使生产照常进行。

b. 采用部件修理法。这是把待修的部件拆下，将已修好的同类部件换上，然后将换下的部件修复，以备下次再用。它适用于企业中数量大的同类设备。

c. 采用 A、B 机交替工作。即 A 机工作，B 机检修；B 机工作，A 机检修。

d. 增多并行运转设备。例如某工程需每分钟供应 4t 水，这可用 4 台每分钟输出 1t 水的水泵来完成。但如该工程不允许产生瞬间供水间断，这将使 4 台水泵都无法检修。解决的方法是增加 2 台水泵并行运转。这样，即使同时有任意 2 台水泵发生事故，可照常检修而不影响生产。

采用冗余技术的缺点是多备了设备，降低设备利用率，积压了资金。此法多用于不宜停产的生产线上。

⑥ 采用无维修设计和易维修设计。这是目前设备设计的发展方向，也就是尽量使设计出来的设备结构简单，提高易损件寿命及可靠度，从而减少修理次数，甚至使设备在整个寿命期内不必修理，彻底取消停机修理时间。在尚不能做到无维修设计时，采用易维修设计也很重要，即设计时尽量使零部件安排得易于检查、容易拆卸，提高零部件三化程度，从而减少停机修理时间。

⑦ 维修窗口。就是指在安排生产计划时考虑到一定的生产间隙时间，作为设备维修保养之用。因此，维修日程计划应尽量与之协调，充分利用维修窗口，事先做好准备，集中优势力量，进行突击维修，确保设备按期修复投产。这样为减少停机时间、提高设备利用率创造了有利条件，这种方法对连续生产、流程生产的设备尤为适用。

(5) 制浆造纸设备检修工作的内容　包括拆卸分解、修复更换、刮研和涂装等。其区分见表 6-20。

表 6-20　制浆造纸设备检修工作内容主要区分

项　目	大　修　理	中　修　理	二 级 保 养	一 级 保 养
拆卸分解程度	全部拆卸分解	拆卸分解需要检修的部分	拆卸检查部分磨损严重的机件和污秽部件	打开部件的盖子检查和检验磨损情况
修复更换程度	修理基准件，更换或修复主要大型零部件及所有不合用的零件	修理主要零件与基准件，更换或修复部分使用期限小于等于至下次中修或大修间隔期的零件	消除污秽积屑，调整零件间隙及相对位置，更换或修复可能使用至下次检修间隔期的零件	擦拭机器，调整间隙，紧固松动部件，检查、检验机件磨损情况，摸清下次检修所要修复的缺陷
刮研程度	全部刨削、磨削或刮研	刮研、刮削所有导轨的 30%～40%	局部修刮或填补划痕、擦研伤	修打毛刺划痕
精度要求	达到出厂标准或者满足工艺要求	主要精度达到最低的工艺要求，个别精度项目难以恢复时可顺延至下次大修时解决	达到最低工艺要求	摸清精度变化情况提出安排检修意见，修打毛刺划痕
涂装要求	全部打光喷涂或刷涂	喷涂或补漆	不进行	不进行
工作量比率	100%	50%～60%	15%～20%	3%

6.8　制浆造纸设备检修的实际内容

6.8.1　制浆造纸专业设备一级、二级保养及中修、大修内容

6.8.1.1　削片机

(1) 一级保养

① 全面清扫设备外表，做到无灰、无油污。

② 检查更换飞刀和底刀的紧固螺栓，调整底刀板位置。

③ 检查主轴、刀盘、联轴器、轴承、外壳安全装置和各部位螺栓，做到安全可靠。

④ 检查启动器、制动器、皮带调整器，做到操作灵活、牢固可靠。

⑤ 检查主轴轴向窜动量，并调整其间隙。

⑥ 检查轴承和各润滑点的油路、油质、油量、油封，保持良好、消除渗漏。

⑦ 调整或更换三角皮带。

⑧ 检查电器箱、电动机。

(2) 二级保养

① 完成一级保养所规定的内容。

② 清洗、检查轴承，酌情更换。

③ 检查、修理主轴、刀盘、联轴器、外壳、木片分离器及管路，更换磨损件。

④ 检修电器设备，更换损坏件。

(3) 中修内容

① 完成二级保养各项内容。

② 检查、修理刀盘、主轴、轴承等。

③ 修理或更换螺旋板，全面检查和修理削片机外壳。

④ 拆洗、检查喂料辊送机及其传动减速机。

⑤ 拆洗、修理或更换底刀及侧刀。

⑥ 修理、检查刀壳及喂料口。
⑦ 全面检查和修复旋风分离器。
⑧ 修理或更换制动器、制动轮或制动带。
⑨ 修理或更换磨损的喂料辊送机零件及其传动减速器齿轮和齿轮轴。
⑩ 详细检查并拧紧各紧定部件，特别是底座螺栓等。
⑪ 检查、修理或更换自动刹车等仪器、仪表。
⑫ 检查、修理电器设备。
⑬ 按图纸技术要求进行总装。
⑭ 刷油或补漆。
⑮ 按产品说明书要求对各部位加注润滑油脂、试车和验收。
(4) 大修内容
① 完成中修所规定的各项内容。
② 更换主轴和刀盘。
③ 修理或更换外壳。
④ 修理或更换投木口。
⑤ 根据情况进行基础修理。
⑥ 修理更换电器设备。
⑦ 全部刷涂或喷涂。
⑧ 按照图纸技术要求进行组织试车验收。
(5) 完好标准（①～⑦项为主要项目）
① 性能基本达到原设计标准或者满足生产工艺要求。
② 辊送装置运转灵活、可靠。
③ 传动装置和制动机构零部件齐全、完整、紧固可靠、动作灵活。
④ 刀盘与投木口连接部（机）件齐全、紧固、连接良好、无严重磨损。
⑤ 电气系统装置齐全、线路完整（注一❶）。
⑥ 润滑良好，无漏油现象（注二），滑动轴承温升不高于60℃，滚动轴承温升不高于70℃。
⑦ 设备清洁（注三），标牌醒目（注五），安全防护装置齐全、完整、可靠。
⑧ 技术资料齐全（注六）。
6.8.1.2 切草机
(1) 一级保养
① 清理设备外表污垢，保持设备清洁无锈蚀。
② 检查机器主要紧固螺栓，安全设施是否安全可靠。
③ 检查、清理油路，加足润滑油。
④ 调整或更换三角皮带、进出料输送皮带。
⑤ 修理或更换飞刀、底刀。
⑥ 检查进出料皮带输送机各辊运转情况。
⑦ 检查离合器及各链轮、齿轮、链条。
(2) 二级保养

❶ 注一～注六见 P155 注解。

① 完成一级保养各项内容。
② 检查、清洗或更换刀辊、进料口各刺辊的轴承、弹簧。
③ 检查、清洗或更换进出料皮带输送机各辊子及轴承。
④ 检修、清洗或更换离合器、链轮、齿轮、链条、进料传动减速机。
⑤ 检查飞刀辊有无损坏和裂纹。
⑥ 检修或更换电器设备。
(3) 中修内容
① 完成二级保养各项内容。
② 检查及补修转子及转子轴、轴承、轴承座。
③ 检查或更换传动减速机、齿轮及轴、轴承。
④ 检查或更换联轴节磨损件。
⑤ 检查、修理或更换输送衬板。
⑥ 根据图纸技术要求进行总装。
⑦ 刷油或补漆。
⑧ 组织试车并验收。
(4) 大修内容
① 完成中修所规定的各项内容。
② 更换刀辊及主轴。
③ 全部修理或更换传动减速机齿轮及轴承等。
④ 根据图纸技术要求进行总装。
⑤ 全部刷油或喷漆。
⑥ 组织试车并验收。
(5) 完好标准（①～⑥项为主要项目）
① 性能基本达到原设计标准。
② 传动系统运转良好，无异常杂音。
③ 零部件齐全、完整、可靠。
④ 各齿轮、链轮、链条啮合良好。
⑤ 离合器动作灵敏、可靠。
⑥ 润滑良好，滚动轴承温升不超过 70℃，无漏油现象（注二）。
⑦ 设备清洁（注三），标牌醒目（注五），安全防护装置齐全、完整、可靠。
⑧ 技术资料齐全（注六）。

6.8.1.3 羊角除尘器

(1) 一级保养
① 清扫设备外表面。
② 检查转鼓是否正常，羊角有无松动缺损。
③ 调整或更换皮带，装好防护罩。
④ 检查清理油路，加足润滑油。
⑤ 检查筛板有无磨损和破裂。
(2) 二级保养
① 完成一级保养各项内容。

② 检查、清洗或更换轴承。

③ 更换、调整皮带轮，转鼓。

④ 修理或更换羊角、筛板。

⑤ 检修或更换电器设备。

(3) 中修内容

① 完成二级保养各项内容。

② 检查及补修羊角辊筒。

③ 检查及修补主动、被动辊轴承等。

④ 检查或修理机架外壳、走台，并清除尘土油污等。

⑤ 检查清洗风筒、风帽，除尘除污。

⑥ 检查或更换传动装置磨损的零部件。

⑦ 根据技术要求进行装配。

⑧ 刷油或补漆。

⑨ 组织试车并验收。

(4) 完好标准（①～⑤项为主要项目）

① 性能基本达到原设计标准或满足生产工艺要求。

② 辊筒运转正常，羊角无缺损及严重弯曲现象。

③ 筛板完整，无漏洞及破裂现象。

④ 零部件齐全，可靠。

⑤ 润滑良好、滚动轴承温升不超过 70℃，无漏油现象（注二）。

⑥ 设备清洁（注三），标牌醒目（注五），安全防护装置齐全可靠。

⑦ 技术资料齐全（注六）。

6.8.1.4 单、双链式磨木机

(1) 一级保养

① 清洗设备，消除纸浆、油污。

② 检查主轴轴承油圈、油质和水冷装置，以及轴承磨损情况。

③ 检查各部润滑点的油质、油量、油封，消除漏油，疏通油路，保持润滑良好。

④ 检查各部联轴器、轴键、齿轮、蜗轮副、链轮、链条、轴承、主轴档、减速机壳轴承座、轴套、料箱、丝杆、丝母、安全装置等是否正常。

⑤ 检查、修理刻石器、浆位挡板、喷水管等。

⑥ 检查、清扫电器箱、电动机。

(2) 二级保养

① 完成二级保养各项内容。

② 检查挡木铁板及链条，更换损坏件。

③ 检修或更换传动减速机蜗轮和蜗杆。

④ 检查各润滑点，保持润滑良好。

⑤ 检查或更换磨石。

⑥ 检修电器设备，更换损坏件。

(3) 中修内容

① 完成二级保养各项内容。

② 检查或修理主轴、磨木石及轴承。

③ 检查或修理链条、链轮、轴和轴承，更换磨损件。

④ 修理或更换磨损的传动齿轮。

⑤ 拆洗、检查减速机，修理或更换磨损的齿轮和轴（蜗轮、蜗杆）。

⑥ 修理或更换磨损的刻石器。

⑦ 清洗、检查链条升降装置，调整、修理或更换磨损的零部件，并调整灵活。

⑧ 检查、修理温度仪，测速器等自动仪器仪表。

⑨ 检查、修理电器设备。

⑩ 按图纸技术要求进行总装。

⑪ 按使用说明书要求更换润滑油脂。

⑫ 刷油或补漆。

⑬ 进行空载试车并验收。

(4) 大修内容

① 完成中修所规定的各项内容。

② 全部拆洗所有机构的零部件。

③ 修理或更换主轴、磨石及轴承等。

④ 修理或更换减速机、传动部、齿轮、链条、升降装置等所有磨损的零部件。

⑤ 修理、更换电器设备。

⑥ 按图纸技术要求进行总装。

⑦ 全部刷涂或喷涂。

⑧ 组织试车并验收。

(5) 完好标准（①～⑧项为主要项目）

① 性能基本达到原设计标准或满足生产工艺要求。

② 传动系统、齿轮、蜗轮七蜗杆啮合良好，运转正常，无严重磨损，无异常杂音。

③ 大轴无变形，无严重腐蚀。各部零件齐全、紧固、可靠。

④ 磨石组装牢固，表面平整，无裂纹，无严重掉边。

⑤ 喷水管喷水均匀、畅通。

⑥ 刻石机构完整。

⑦ 电气系统装置齐全，线路完整（注一）。

⑧ 油路通畅、润滑良好，滑动轴承温升不超过 60℃、滚动轴承温升不超过 70℃，无漏油现象（注二）。

⑨ 设备清洁（注三），环境卫生（注四），标牌醒目（注五），安全防护装置齐全，可靠。

⑩ 技术资料齐全（注六）。

6.8.1.5 蒸煮锅

(1) 一级保养

① 清洗或消除锅体内外浆料、污物等。

② 检查锅内汽管篦板、锅盖和锅体各衔接口的密封垫、紧固件、并修补或更换，消除渗漏。

③ 检查、清洗管路阀门，更换盘根。

④ 检查锅体外部焊缝有无裂纹和渗漏，保温层有无脱落并记录。

⑤ 检查、清扫电气设备和仪表装置。

⑥ 检查、调整或修理生产自控和检测仪表等装置。

(2) 二级保养

① 完成一级保养所规定的内容。

② 检修或更换各部阀门。

③ 检修自动装锅器，浆料喷放阀，电动或汽动阀门联动机构和附属设备。

④ 各润滑点清洗、检查并换油。

⑤ 检修、调试电气设备和热工仪表。

⑥ 安全阀和锅体耐压检测按国家劳动总局规定执行。

⑦ 定期检查锅体基础有无下沉和倾斜，并做好记录。

⑧ 复合钢板蒸煮锅检查、修理衬里（衬砖锅检查面砖），并做好记录。

(3) 中修内容

① 完成二级保养各项内容。

② 检查、补修耐酸砖衬里，并检查、修理过滤网板，修理复合钢板锅衬里。

③ 修理或更换安全阀、压力表、温度计、进气阀、药液阀、放料阀和蒸汽自控阀。

④ 检查或更换锅盖的全部螺丝、螺母。

⑤ 检查、修理放料仓的振动装置。

⑥ 疏通加热器的管道，修理或更换已腐蚀的管道。

⑦ 检查、补修保温层。

⑧ 按国家劳动总局有关受压容器技术规定进行水压试验。

⑨ 按产品说明书要求试车验收。

(4) 大修内容

① 完成中修所规定的各项内容。

② 更换锅体的面、背砖。

③ 检查或更换篦子。

④ 全面进行探伤检查，测试锅体各部壁厚并鉴定（参考压力容器标准）。

⑤ 根据国家劳动总局有关受压容器的各项规定组织耐压试验。

⑥ 复合钢板蒸煮锅修理锅衬里。

(5) 完好标准（①～⑪项为主要项目）

① 性能基本达到原设计标准或满足生产工艺要求。

② 装锅器完整，管道畅通、无缺陷。

③ 零部件齐全，可靠。

④ 锅体钢板（衬砖，复合钢板）内外侧无严重腐蚀，无裂纹，焊缝良好，定期进行水压试验，试验压力符合国家劳动总局有关规定，砖衬完整无脱落、渗漏现象，外部保温良好。

⑤ 洗锅喷水管路安装牢固，过滤板孔畅通。

⑥ 各部阀门连接良好（注二）。

⑦ 检测仪表齐全，灵敏准确。

⑧ 药液循环管路畅通良好，无异常现象。

⑨ 放料阀门零部件齐全，动作灵活、可靠。

⑩ 管路畅通，保温良好，标志醒目（注五）。

⑪ 锅盖严密，螺栓无腐蚀现象。

⑫ 设备清洁（注三），环境卫生（注四）。

⑬ 安全防护装置及各种信号装置齐全完整、可靠。

⑭ 技术资料齐全（注六）。

6.8.1.6 真空洗浆机

(1) 一级保养

① 清洗设备，清除外部浆料、黑液、油污，检查各部分包胶完好情况。

② 检查转鼓、带板、各部紧固和安全装置，并处理。

③ 检查、更换真空排水分配头连接胶管、三角皮带和链条。

④ 检查、更换搅浆辊、盘根和转鼓、主轴盘根，消除漏浆和漏液。

⑤ 检查分配头分配板和剥浆辊调节装置。

⑥ 检查减速箱油位和各部轴承，做到各润滑点油路畅通，油质、油量、油封保持良好，无渗漏。

⑦ 检查、修理水、黑液、喷洗等管路和各种阀门。

(2) 二级保养

① 完成一级保养规定的内容。

② 检修减速机、齿轮、轴、调速器、皮带轮、联轴节、链轮、链条、分配板、弹簧、剥浆辊、搅浆辊、轴承和其他损坏件。

③ 检修壳体和气罩。

④ 检修、更换各部管路、阀门。

⑤ 检修电器箱、电动机，更换磨损件。

(3) 中修内容

① 完成二级保养各项内容。

② 拆卸清洗全部防护装置。

③ 检查更换剥料辊及滚动轴承。

④ 拆洗修补分配头及其管路。

⑤ 拆洗洗鼓，更换筛板。

⑥ 根据磨损情况修复洗鼓主轴，更换轴承。

⑦ 修理或更换磨损的大小齿轮。

⑧ 修理或更换减速机内磨损的齿轮和轴。

⑨ 按腐蚀程度焊补槽体。

⑩ 更换分配片及检查或更换吸液胶管。

⑪ 修理或更换排气罩。

⑫ 拆洗或更换螺旋搅拌器零部件。

⑬ 拆洗、检查螺旋搅拌器的减速机，并更换磨损的齿轮、轴及联轴节。

⑭ 更换洗鼓水封挡板。

⑮ 按图纸要求进行总装。

⑯ 检查各部紧固件及基础螺栓。

⑰ 刷油或补漆。

⑱ 按产品说明书要求，对各部加注润滑剂并试车验收。

(4) 大修内容

① 完成中修所规定的各项内容。

② 拆卸、修理或更换洗鼓、筛板、分配头、剥料辊及其管路。

③ 拆洗、更换减速机、传动装置、螺旋送料装置等零部件。

④ 修理、更换腐蚀变形或损坏的槽体。

⑤ 检查、修理或更换圆网笼铜棒、铜线等。

⑥ 根据磨损情况修理或更换圆网笼主轴。

⑦ 按图纸技术要求进行总装。

⑧ 全部刷油或喷涂。

⑨ 组织试车并验收。

(5) 完好标准（①～⑧项为主要项目）

① 性能基本达到原设计标准或满足生产工艺要求。

② 运转平稳，齿轮啮合良好，无严重磨损，零部件齐全、可靠。

③ 网体完整，网笼无变形、坑凹、松动等现象。

④ 转鼓、剥料辊、搅拌辊转动灵活。

⑤ 胶辊无变形，辊面无坑凹和老化现象。

⑥ 真空度符合工艺要求。

⑦ 分配阀密封良好，水腿管、有机玻璃等连接处紧密可靠。

⑧ 真空管路阀门调节灵活，无漏水、漏浆现象（注二）。

⑨ 仪表灵敏，指示准确。

⑩ 中间槽搅拌器叶片紧固无磨损，槽体无严重腐蚀。

⑪ 润滑良好，滑动轴承温升不超过60℃。

⑫ 设备清洁（注三），环境卫生（注四），标牌醒目（注五），安全防护装置齐全、可靠。

⑬ 技术资料齐全（注六）。

6.8.1.7 ϕ450mm 双圆盘磨浆机

(1) 一级保养

① 清洗或擦拭机器设备及电器设备外表面。

② 检查机器各部运转是否正常，紧固螺栓、联轴器、防护罩是否安全可靠。

③ 检查各润滑点的润滑脂和润滑油是否良好。

④ 按说明书要求加足润滑油。

⑤ 检查移动座进给系统，转盘轴向移动系统是否灵活、可靠。

⑥ 按磨损情况和工艺条件要求更换盘齿（磨损60%更换）。

(2) 二级保养

① 完成一级保养各项工作。

② 检查、清洗或更换主轴轴承及轴承座。

③ 检修、清洗或更换移动座进给系统及油路。

④ 检修或更换联轴器磨损件。

⑤ 检修密封圈及填料盒。
⑥ 检修或更换电器设备。
(3) 中修内容
① 完成二级保养各项内容。
② 拆洗修理主要零部件并鉴定。
③ 修理或更换联轴节、轴承、主轴、磨盘、磨片、进浆阀、出浆阀、水阀等。
④ 修理或更换手动蜗轮箱零件。
⑤ 修理或更换机动蜗轮箱零件。
⑥ 按图纸要求进行总装。
⑦ 刷油或补漆。
⑧ 按产品说明书要求进行试运转并验收。
(4) 大修内容
① 完成中修所规定的各项内容。
② 全部解体、清洗所有机构的零部件。
③ 更换或修理磨损的主轴、磨盘、外壳、磨片等。
④ 按图纸技术要求进行总装。
⑤ 组织试车并验收。
⑥ 全部刷油或喷涂。
(5) 完好标准（①～⑥项为主要项目）
① 性能基本达到原设计标准或满足生产工艺要求。
② 结构完整，零部件齐全、可靠、无严重磨损。
③ 齿盘固定螺栓不得有松动，调节装置灵活。
④ 润滑良好、滚动轴承温升不超过 70℃，无漏油现象。
⑤ 各管路阀门灵活，无漏浆、漏水现象（注二）。
⑥ 压力表灵敏准确。
⑦ 设备清洁（注三），标牌醒目（注五），安全防护装置齐全可靠。
⑧ 技术资料齐全（注六）。

6.8.1.8 长网多缸造纸机（浆板机参照执行）

(1) 一级保养
① 网部
a. 擦洗机体，保持各部清洁。做到机体表面无浆料、无油污、无杂物。
b. 检查、清洗匀浆辊及轴承。
c. 检查、修理铜网调整装置，保持灵活。
d. 检查各连接部位螺栓是否松动，并及时加以紧固。
e. 检查、修理、调整真空吸引箱和成型板面。
f. 检查上伏辊升降装置。
g. 检查真空伏辊运转是否正常、密封是否良好，辊面有无变形、磨损或堵塞。
h. 检查各部辊类运转是否正常，磨损如何。
i. 检查清理油路，加足润滑油。
j. 检查阀门管线是否有跑冒滴现象。

② 压榨部

a. 擦洗机体，保持清洁。

b. 检查真空压榨辊运转是否正常，密封辊面是否良好。

c. 检查上压榨辊、毛布挤水辊、导辊、引纸辊等运转是否正常，刮刀与辊面接触是否良好。

d. 检查加压、升降调整装置是否灵活可靠，液压、气压加压系统密封是否良好。

e. 检查清理油路、管路、加足润滑油。

f. 检查连接螺栓有无松动，安全设施是否齐全。

③ 干燥部

a. 擦拭机体，清理纸毛，保持清洁。

b. 检查各导辊、引纸辊、弹簧辊运转是否正常。

c. 检查调整装置是否灵敏可靠。

d. 检查烘缸刮刀是否正常。

e. 检查、清理油路，保持润滑油畅通。

f. 检查烘缸汽头密封。

④ 传动部

a. 清扫、擦拭减速机、联轴器、操纵台及电器设备，保持清洁。

b. 检查安全装置是否齐全可靠。

c. 检查各离合器、调速器是否灵敏可靠。

d. 检查减速机油位、油质、油封是否正常。

e. 调整或更换传动皮带。

f. 检查各传动轴承是否正常。

(2) 二级保养

① 完成一级保养各项内容。

② 网部

a. 检查、修复网前箱损坏零件，检查调整堰板。

b. 检查、修复或更换真空吸引箱面和成型板。

c. 检查、清洗或更换各种辊类及轴承。

d. 检查、修理调整装置，上伏辊升降装置，保持灵活可靠。

e. 检查、修复或更换真空伏辊、真空吸引箱及其封条、封头、气阀等。

f. 清洗或更换摇振器零部件。

g. 检修网案抽出机构。

③ 压榨部

a. 检查、清洗或更换压榨辊、挤水辊、导辊、引纸辊及其轴承。

b. 检查、修理或更换真空压榨辊、真空伏辊及其封条、封头、气阀、仪表等。

c. 检修或更换压榨辊刮刀。

d. 检查、修理加压升降装置及液压汽压系统的密封装置，调整装置，保持灵活可靠。

④ 干燥部

a. 检查、清洗或更换导辊、引纸辊、弹簧辊及其轴承。

b. 检查、修理或更换烘缸刮刀、引纸绳轮轴承。

c. 检修或更换烘缸及帆布缸进汽头及其系统的阀门、仪表、虹吸管、疏水器、更换磨损件。

d. 修理烘缸气罩。

⑤ 传动部

a. 检查、清洗或更换轴承。

b. 检查、清洗减速机，更换损坏件，检查油质及换油。

c. 检查清洗联轴节、调速器、离合器，更换或修理磨损件。

d. 检查、修理或更换电器设备，控制设备。

注：把长网纸机分成若干部分，每部分可当成一台单机看待。一级、二级保养一次完不成可分期分次进行。

(3) 中修内容

① 完成二级保养各项内容。

② 铜网部

a. 拆洗网前箱（流浆箱）的零部件，并鉴定。

b. 修理或更换磨损的匀浆辊轴颈及其传动减速机蜗轮蜗杆和轴承、联轴节等机构。

c. 拆洗、检查摇振箱的零部件，更换磨损的轴、套、轴承、密封件。

d. 修理或更换摇振箱拉杆，弹簧板等零部件。

e. 拆洗检查或更换各部辊筒（案辊、导辊、网辊、胸辊、上伏辊）及其轴承等。

f. 拆洗、检查或更换真空伏辊、真空吸水箱及其封条、封头、轴承。

g. 拆洗、检查、修理上伏辊加压机构，更换磨损件。

h. 检查、修理换网机构、网案调整机构、铜网张紧机构，使之灵活可靠。

i. 修理或更换水针。

j. 平整网案使其符合工艺要求。

k. 紧固和更换各部螺丝、螺母。

l. 按分部装配图要求进行装配。

m. 刷油或补漆。

n. 按产品说明书要求及工艺条件要求组织试车并检查。

③ 压榨部

a. 拆洗、检查或更换挤水辊、压榨辊、引纸辊、毛布辊及其轴承。

b. 拆洗、检查加压装置、毛布张紧装置及毛布调整装置，更换磨损的零件，使之灵活可靠。

c. 拆洗、检查和修理压榨辊刮刀装置，更换磨损的刮刀片。

d. 检查修理或更换真空压榨辊（真空吸引辊）的封条，封头、气阀。

e. 更换真空吸引箱。

f. 按压榨部图纸技术要求进行总装。

g. 刷油或补漆。

h. 按图纸要求试车并验收。

④ 干燥部

a. 检查、修理或更换导辊、引纸辊、弹簧引纸辊及其轴承。

b. 拆洗、检查或更换表面施胶辊及其轴承，修理或更换表面施胶的加压装置。

c. 拆洗、修理毛布张紧器、引纸绳轮。
d. 拆洗、修理或更换烘缸进气头、疏水器、进出汽阀门及虹吸管。
e. 拆洗、修理烘缸气罩及其排气管。
f. 根据烘缸表面锈蚀和磨损程度适当考虑车削研磨以达工艺要求。
g. 拆洗、检查烘缸传动齿轮，更换磨损的齿轮。
h. 拆洗、检查烘缸刮刀装置，更换磨损的刮刀片。
i. 检查、修理烘缸轴颈和轴承。
j. 按干燥部图纸技术要求进行总装。
k. 根据国家劳动总局有关受压容器的技术规定，对烘缸进行水压试验。
l. 刷油或补漆。
m. 按产品说明书要求进行试运转并验收。
⑤ 传动部
a. 拆洗、检查各部轴承，更换磨损的轴承。
b. 拆洗、检查减速机离合器、调速器、联轴器、更换磨损的零部件。
c. 检查、修理和更换皮带轮、轴承、齿轮、轴等零部件。
d. 检查、修理电器设备。
e. 按图纸技术要求进行总装，调校总轴的平直度。
f. 刷油或补漆。
g. 按产品说明书要求进行试运转并验收。
(4) 大修内容
① 完成中修所规定的各项内容。
② 铜网部
a. 全部解体清洗，更换网案、胸辊架、真空吸引箱等。
b. 修理或更换网前箱、唇板及唇板调整装置。
c. 全部解体修理或更换摇振箱所有机构的零部件。
d. 全部解体清洗伏辊辊筒和疏通辊面孔及铜网紧张器装置等。
e. 修理或更换真空伏辊内的真空箱装置、轴承装置等。
③ 压榨部
a. 全部解体清洗各部石辊以达工艺要求，更换或修理磨损的各部胶辊。
b. 检查修理或更换各部加压装置、毛布紧张装置，使之灵活好用。
④ 干燥部
a. 全部解体清洗，根据磨损程度研磨烘缸表面，修理轴颈。
b. 清洗、检查表面施胶装置，研磨施胶辊表面。
c. 检查、研磨平滑辊，调整修理加压装置。
d. 拆洗检查烘缸传动齿轮，更换磨损的轴承。
e. 修理或更换烘缸汽罩及其排气管、各阀门等。
⑤ 传动部
a. 全部解体清洗、检查、更换传动各部轴承。
b. 全部解体清洗、检查、更换传动减速机磨损的齿轮、轴承等。
c. 检查、更换联轴节及离合装置、调速装置等。

d. 修理、更换电器设备。

⑥ 按图纸技术要求进行总装配。

⑦ 全部打光除锈刷油或喷漆。

⑧ 组织试车并验收。

(5) 完好标准（①～⑦项为主要项目）

① 设备性能良好，符合工艺要求。

a. 实际生产能力达到设计能力的90%以上或“查定”的技术指标。

b. 工艺技术性能满足正常生产的需要。

② 设备运转正常，润滑良好。

a. 运转平稳，无振动、窜动、异常杂音。

b. 润滑系统油路畅通，无漏油现象（注二），各部轴承温升正常，滚动轴承不超过70℃，滑动轴承不超过60℃。

③ 结构完整，零部件齐全。

a. 网前箱无锈蚀、腐烂，喷浆唇板平直，调节灵活，匀浆辊转动良好。

b. 网案无明显变形，换网装置完整可靠。

c. 各类辊子及烘缸的精度、光洁度、胶辊表面硬度等技术条件，均保持或接近原定的技术标准。真空伏辊辊筒吸水孔无堵塞、内表面无严重磨损，真空伏辊、真空压榨辊的真空箱结构完整，密封良好，压榨石辊芯轴结合牢固。案辊转动灵活，刮水板平直光滑，脱水性能良好。

d. 真空吸引箱面板平直光滑，密封良好。

e. 摇振箱的振幅，频率符合设计要求。

f. 损纸螺旋输送机和伏辊损纸池搅拌器完整无损。

g. 烘缸水压试验符合国家劳动总局规定的技术条件，汽头良好，排水畅通。

h. 刮刀平直，贴紧缸（辊）面，接触良好，活动刮刀移动灵活。

i. 传动轴无变形，皮带轮等传动装置完整无损，减速机及各部齿轮啮合正常，无严重磨损。

j. 引纸系统的引纸绳轮装置及压缩空气吹纸，剥纸引纸装置齐全完整，操作灵活。

k. 排汽罩及其管路完整，无破损，无滴水现象。

l. 基础机架，机座坚固完整，无裂纹，无损伤，各部螺栓齐全、紧固。

④ 各部调节、加压、张紧、起落、离合等装置齐全灵活。

⑤ 安全防护装置、扶梯、走台等齐全可靠。

⑥ 各部仪器、仪表灵敏、准确，定期校验。

⑦ 电器设备齐全完整，绝缘良好，操作灵活，运行可靠（注一）。

⑧ 设备清洁（注三），环境卫生（注四），标牌醒目（注五）。

⑨ 技术资料齐全（注六）。

注：造纸机由于规格和制造质量不统一，以及产品品种不同，故设备性能有的以试产后核定的生产能力作为“查定”的技术指标。

6.8.1.9 复卷机

(1) 一级保养

① 擦拭机体、电器设备、减速机外表面，保持清洁。

② 检查连接螺栓是否紧固，安全设施是否完整可靠。
③ 检查各辊运转是否正常。
④ 检查刀辊起落装置及换刀装置或更换刀片。
⑤ 检查各轴承和液压系统油缸、油路，保持油管畅通。
⑥ 检查纸张张力控制系统，保持灵活安全。
⑦ 检查减速机油质、油位、油封，及时更换，保持清洁。
(2) 二级保养
① 完成一级保养各项内容。
② 检修、清洗减速机齿轮箱，更换磨损件。
③ 检查、清洗或更换各种辊子及轴承。
④ 检查底刀辊，更换底刀。
⑤ 检查、清理液压系统油路，更换磨损件。
⑥ 检修退纸辊支架调节装置及引纸装置。
⑦ 检查、修理或更换电器设备。
(3) 中修内容
① 完成二级保养各项内容。
② 拆卸清洗主要机构的零部件并鉴定。
③ 磨削底辊表面及更换磨损的轴承。
④ 修理或更换减速机齿轮、齿轮轴及轴承、皮带轮、链轮、链条等。
⑤ 修理或更换各类辊筒及其轴承、上下圆刀装置。
⑥ 修理或更换退纸支架的轴承、丝杆等零部件。
⑦ 修理或更换纸辊芯顶尖及卷纸芯轴零部件。
⑧ 修理或更换卸纸油缸零部件及液压系统。
⑨ 按图纸技术要求进行总装。
⑩ 刷油或补漆。
⑪ 按产品说明书的要求进行试运转并组织验收。
(4) 大修内容
① 完成中修所规定的各项内容。
② 根据使用磨损程度研磨底辊表面，更换修理各托辊、压辊轴颈、轴承等。
③ 修理或更换磨损的制动及水冷装置，修理或更换传动损坏件。
④ 检查机架、滑轨、更换损坏件。
⑤ 按图纸技术要求进行总装。
⑥ 全部打光刷油或喷涂。
⑦ 组织试车并验收。
(5) 完好标准（①～⑨项为主要项目）
① 性能基本达到原设计标准或满足生产工艺要求。
② 传动系统及底辊运转正常，无振动、无杂音。
③ 零部件齐全、无严重磨损。
④ 分切刀和升降装置动作灵敏、可靠。
⑤ 各操纵、升降、推卸、压紧、离合、制动等装置动作灵敏可靠。

⑥ 控制台仪表系统液压、气压元件等齐全、灵敏、可靠。

⑦ 切纸刀符合有关技术规定。

⑧ 电气系统装置齐全、线路完整（注一）。

⑨ 润滑良好，滑动轴承温升不超过 60℃，滚动轴承温升不超过 70℃。

⑩ 各油、汽管道畅通，无漏油、漏汽现象（注二）。

⑪ 设备清洁（注三），标牌醒目（注五），安全防护装置齐全可靠。

⑫ 技术资料齐全（注六）。

6.8.1.10 超级压光机

(1) 一级保养

① 清洗擦拭机身表面，做到无灰尘、无纸屑、无油污。

② 检查各部紧固及安全装置情况，发现问题及时处理。

③ 检查各导轨面有无磨损。

④ 检查各联轴节，更换损坏的橡胶圈。

⑤ 检查各润滑油路、油质，保持良好。

⑥ 检修进汽头，更换填料。

⑦ 检查升降梯、传动部易损件，适当加注润滑脂。

⑧ 检查导纸辊、卷纸辊、退纸辊、离合器、刹车装置及钢丝绳、吊钩等，排除不良隐患。

⑨ 检查铸铁辊及纸粕辊表面有无损伤。

⑩ 检查油泵、油管路、操纵阀门等，排除滴漏现象。

⑪ 清扫电器箱、电动机、操作台。

(2) 二级保养

① 完成一级保养内容。

② 清洗钢辊轴承。

③ 清洗、检查升降梯，更换磨损件。

④ 检查各减速机齿轮、轴、轴承、毡圈，并检查油质，保持良好。

⑤ 检查油缸活塞、杠杆装置，更换损坏。

⑥ 检查顶辊、底辊密封圈及油质，保持良好。

⑦ 检查清洗或根据工艺要求更换纸粕辊。

⑧ 检查吊车传动齿轮、轴、离合器、滚筒等，更换磨损件。

⑨ 检修液压系统，更换损坏件。

⑩ 检修水、汽管路及阀门，更换损坏件。

⑪ 检修卷纸辊、退纸辊，更换或修理损坏件，并校正。

⑫ 检修电器箱、电动机、操作柜以及配电线路等。

(3) 中修内容

① 完成二级保养各项内容。

② 拆卸清洗主要机构的零部件并鉴定。

③ 全部磨削纸粕辊和所有的冷硬铸铁辊。

④ 检查修理和更换磨损的各部托纸辊、轴承。

⑤ 修理或更换减速机齿轮、齿轮轴、联轴节等零部件。

⑥ 修理或更换退纸和卷纸用的无级调速器的零部件。

⑦ 修理或更换润滑系统的零部件，如油泵、各类阀门、管路等。

⑧ 修理加压系统并更换密封件。

⑨ 修理升降系统，更换磨损件，使之安全可靠。

⑩ 修理或更换水、汽管路系统各阀门。

⑪ 按图纸技术要求总装。

⑫ 刷油或补漆。

⑬ 按产品说明书要求进行试运转，并验收。

(4) 大修内容

① 完成中修所规定的各项内容。

② 全部解体清洗所有机构的零部件，更换检查轴承、轴承衬等。

③ 修理或更换退纸和卷纸装置及调速装置。

④ 修理加压系统，更换磨损零部件及密封件。

⑤ 修理更换电器设备。

⑥ 按图纸技术要求进行总装。

⑦ 全部打光刷油或喷涂。

⑧ 组织试车并验收。

(5) 完好标准（①～⑨项为主要项目）

① 性能基本达到原设计标准或满足生产工艺要求。

② 传动装置运转正常，零部件齐全、完整、可靠。

③ 压光铸铁辊、纸粕辊的辊面符合技术规范，运转平稳，无窜动现象。

④ 高速运转时基础无振动。

⑤ 刮刀平直与辊面接触良好，无翅口、卷刃等缺陷。

⑥ 加压机构、提升机构、限位开关等零部件完整，动作灵敏可靠。

⑦ 电器系统装置齐全完整。

⑧ 各种水、油、汽等管路畅通。

⑨ 吊车性能符合要求，各零部件安全、可靠。

⑩ 压光辊轴承温升正常，滑动轴承不超过 60℃，滚动轴承不超过 70℃，无漏油现象（注二），润滑良好。

⑪ 技术资料齐全（注六）。

【注解】

注一　电气系统装置齐全。

(1) 自控系统或操作装置调节灵活可靠，配电、开关装置符合规定要求、安全、可靠。

(2) 所用电线是否采用不同颜色或线路端部是否有记号标志。

(3) 有无接地装置。

(4) 绝缘、防腐、防爆、防水等措施良好可靠。

(5) 电气部分不受水、汽、油、污垢等杂物影响。

注二　无漏液、漏油、漏气的具体标准。

(1) 漏液：对管道、法兰、阀门等每一个漏点，每分钟大于 10 滴者不算完好。

(2) 漏油：油迹擦净 5min 内又出现油迹者不算完好，如其系设备先天性缺陷（如结构

不合理）。如能采取措施，使其油滴引回油箱还算完好。

（3）漏汽（气）：蒸汽对于管道、阀门、法兰等距离 1 米听不到泄漏声音（允许见到微量白雾）者算完好。

空气对于管道、阀门、法兰等距离 1 米听不到泄漏声音（允许手摸有感觉）者算完好。但有害气体（氯气、二氧化硫等）不得有泄漏现象。

注三　设备清洁。

（1）基本上无跑、冒、滴、漏（气、水、浆、油、液）现象。

（2）机体防腐涂料良好、无油垢、锈蚀，保持清洁。

注四　环境卫生。

机台及工作地点无损纸、浆料油垢、尘土、垃圾等污物。

注五　标牌醒目。

设备上各种标牌（名牌、记号、编号、标志等）保持干净，明显清楚。

注六　技术资料齐全。

（1）主要零部件及易损件图纸齐全正确。

（2）检修、运行、缺陷、事故有记录。

6.8.2　设备完好的考核办法

设备完好的考核办法如下。

① 各设备完好标准中，主要项目有一项不合格者，即为不完好设备。

② 各设备完好标准中，次要项目有两项不合格者，即为不完好设备。

③ 检查设备时，能立即进行修理的项目，修复后仍算完好设备。

6.8.3　设备完好率计算公式

（1）主体生产设备完好率　是指企业拥有主体生产设备中，完好台数占全部主体生产设备的比例，是反映企业设备技术状况的指标。

其计算公式为

$$\text{主体生产设备完好率}=\frac{\text{主体生产设备完好台数}}{\text{全部主体生产设备台数}}\times 100\%$$

（2）全厂设备完好率　全厂设备系指属于固定资产的全厂机械、动力、起重、运输及其他生产用设备。

全厂设备的完好率是指全厂拥有固定资产设备中，全部完好设备台数占全厂设备中的比例。它对直接或间接的提高产品质量、增加产量、完成生产任务具有重要意义。

其计算公式为

$$\text{全厂设备的完好率}=\frac{\text{全部完好设备台数}}{\text{全部设备台数}}\times 100\%$$

$$\text{全部完好设备台数}=\text{全部设备台数}-\text{带病设备台数}$$

第 7 章　制浆造纸设备的更新和改造管理

从广义上讲，设备更新应包括：设备大修理、设备更换和设备现代化改装。在一般情况下，设备大修理能够利用被保留下来的零部件，从而节约了不少的原材料、工时和费用。因而，目前许多企业仍采用大修理的方法。

设备更换（就是通常所说的设备更新，即狭义的更新）是设备更新的最主要形式，特别是用那些结构更先进、技术更完善、生产效率更高、原材料和能源耗费更少的新型设备去替换已陈旧了的设备。

制浆造纸设备更换往往受到设备制造部门生产能力的限制，使陈旧的、役龄较高的设备得不到及时更换，被迫在已经遭受严重无形磨损的情况下使用。解决这个问题的有效途径是设备现代化改装。设备现代化改装是克服现有设备的技术陈旧状态，补偿无形磨损，更新设备的重要方法之一。

7.1　设备的磨损形式

设备在使用（或闲置）过程中会逐渐发生磨损（劣化），磨损有两种形式：有形磨损和无形磨损。

（1）设备的有形磨损　运行中的设备在力的作用下，零部件会发生摩擦振动和疲劳等现象，致使设备的实体产生磨损，这种磨损为第Ⅰ种有形磨损。

设备在闲置过程中，由于自然力的作用而锈蚀，或由于管理不善和缺乏必要维护而自然丧失精度和工作能力，使设备遭受有形磨损。这种有形磨损为第Ⅱ种有形磨损。

第Ⅰ种有形磨损与使用时间和使用强度有关；而第Ⅱ种有形磨损在一定程度上与闲置时间和保管条件等有关。

设备的有形磨损，有一部分是可以通过修理消除，属于可消除性的有形磨损；另一部分不可以通过修理消除，属于不可消除性的有形磨损。如果设备有形磨损可用技术方法来测量，这时设备的有形磨损程度直接决定于设备零件的磨损量。

若零件的磨损是由摩擦而引起的，则该零件的磨损程度 α_p 可用式（7-1）表示

$$\alpha_p = \frac{\delta_i}{\delta} \tag{7-1}$$

式中　δ_i——零件的实际磨损量；

δ——零件最大允许磨损量。

就整机来说，设备有形磨损程度 α_p 的度量，应反映其价值损失。因此，还可以利用设备的实际价值损失，如修理费用与设备的重置价值之比来表示

$$\alpha_p = \frac{R}{K_t} \tag{7-2}$$

式中　R——修理费用；

K_t——在确定设备磨损程度时，该类设备的重置价值。

式（7-2）中的分母用设备重置价值 K_t，不用原始价值，是因为修理费用和设备本身价

值，必须用同一时期的费用方能进行比较。

从经济角度分析，设备有形磨损程度不能超过 $\alpha_p=1$ 的极限。

(2) 设备的无形磨损　设备在使用过程中，除遭受有形磨损之外，还要遭受无形磨损(又称经济磨损或经济劣化)。所谓无形磨损，就是由于科学技术进步而不断出现性能更加完善、生产效率更高的设备，致使原有设备的价值降低，或者是生产同样结构的设备，由于工艺改进或加大生产规模等原因，使得其重置价值不断降低，亦即是原有设备贬值。这样，无形磨损也可分为两种形式。

① 由于相同结构设备重置价值的降低而带来的原有设备价值的贬低，叫做第Ⅰ种无形磨损，也称经济性无形磨损。

② 由于不断出现性能更完善、效率更高的设备而使原有设备在技术上显得陈旧和落后所产生的无形磨损，叫做第Ⅱ种无形磨损，也称技术性无形磨损。

在第Ⅰ种无形磨损情况下，设备的技术结构和经济性能并未改变，但由于技术进步的影响，生产工艺不断改进，成本不断降低，劳动生产率不断提高，使生产这种设备的社会必要劳动耗费相应降低，从而使原有设备发生贬值。例如 X62W 万能升降台铣床，在劳动生产率不断提高的基础上，出厂价格不断降低（见表 7-1），如果某企业于 1995 年买了这种机床，即使未用现在也贬值 33%。

这种无形磨损虽然使生产领域中的现有设备部分贬值，但是设备本身的技术特性和功能不受影响，设备尚可继续使用。因此，一般不需更换。但如果设备贬值速度比修理费用降低的速度快，使修理费用高于设备贬值后的价格时，就要考虑更新。

表 7-1　X62W 万能升降台铣床出厂价格变动率

年　份	1952	1953	1956	1965	1967
出厂价格①/%	100	68.2	60.7	53.7	35.7

① 该价格是与 1952 年的价格相比较所得。

在第Ⅱ种无形磨损情况下，由于出现了具有更高生产率和经济性的设备，不仅原设备的价值会相对贬低，而且，如果继续使用旧设备还会相对地降低生产的经济效率（即原设备所生产产品的品种、质量不及新设备，以及生产中耗用的原材料、燃料、动力和工资等比新设备多)。这种经济效果的降低，实际上反映了原设备使用价值的局部或全部丧失，这就有可能产生用新设备代替现有旧设备的必要性。不过这种更换的经济合理性是取决于现有设备贬值程度，以及在生产中继续使用旧设备的经济效果下降的幅度。

在实际生产中，通常用价值损失来度量设备无形磨损的程度。下面介绍在技术进步影响下，如何利用设备价值降低系数来表示设备无形磨损的程度

$$\alpha_i=\frac{K_0-K_t}{K_0}=1-\frac{K_t}{K_0} \tag{7-3}$$

式中　K_0——设备的原始价值，元；

K_t——考虑到第Ⅰ、Ⅱ种无形磨损时设备的重置价值，元。

在计算无形磨损 α_i 时，K_t 必须反映技术进步两个方面的影响：一是相同设备重置价值的降低；二是具有更好性能和更高效率的新设备的出现。这时 K_t 可用式 (7-4) 表示

$$K_t=K_n\left(\frac{q_0}{q_n}\right)^{\alpha}\left(\frac{C_0}{C_n}\right)^{\beta} \tag{7-4}$$

式中　K_n——新设备价值，元；

q_0，q_n——使用相应的旧设备，新设备时的年生产率，%；

C_0，C_n——使用相应的旧设备、新设备时的单位产品成本，元/个；

α，β——分别为劳动生产率提高和成本降低指数，指数的取值范围均在0～1之间。

（3）设备的综合磨损　有了设备的有形磨损指标和无形磨损指标，就可以计算同时发生两种磨损的综合指标。

$$\alpha_m = 1-(1-\alpha_p)(1-\alpha_i) \tag{7-5}$$

式中　α_m——设备综合磨损程度（用设备原始价值的比率表示）；

α_p——设备有形磨损的程度；

α_i——设备无形磨损的程度。

至于设备在两种磨损作用下的剩余价值K，可用式（7-6）计算

$$K = (1-\alpha_m)K_0 \tag{7-6}$$

整理得

$$\begin{aligned} K &= (1-\alpha_m)K_0 = [1-1+(1-\alpha_p)(1-\alpha_i)]K_0 \\ &= \left(1-\frac{R}{K_t}\right)\left(1-1+\frac{K_t}{K_0}\right)K_0 \\ &= K_t - R \end{aligned} \tag{7-7}$$

式中，K_0为原始价值，元。

从式（7-7）看出，设备的剩余价值K等于设备重置价值K_t减去修理费用R。

例7-1　某设备的原始价值$K_0=10000$元，现在需要修理，其费用$R=3000$元，若该种设备重置价值$K_t=7000$元，求该设备的综合磨损程度及其剩余价值。

解

$$\alpha_p = \frac{R}{K_t} = \frac{3000}{7000} = 0.43$$

$$\alpha_i = 1-\frac{K_t}{K_0} = 1-\frac{7000}{10000} = 0.3$$

$$\alpha_m = 1-(1-\alpha_p)(1-\alpha_i) = 1-(1-0.43)(1-0.3) = 0.6$$

$$K = K_t - R = 7000-3000 = 4000(\text{元})$$

答：该设备的综合磨损程度为60%，其剩余价值为4000元。

通过以上分析可以看出，两种磨损都引起原始价值的降低，这一点两者是相同的。不同之处是有形磨损的设备，特别是有形磨损严重的设备，在进行（大）修理之前，常常不能正常使用。而任何无形磨损都不影响设备的继续使用，但经济效益降低了，假如设备已遇到严重的有形磨损，而它的无形磨损还没有到来，这时无需设计新设备，只需对遭到有形磨损的设备进行修理或更换就可以了。

假如设备的无形磨损期早于有形磨损期到来，这时企业面临的抉择是继续使用原有设备，还是选用先进的新设备更换尚未折旧完的旧设备呢？在技术发展较快的情况下，有些设备更新换代的周期缩短了，就容易产生这种现象。一般地说，这种设备不必再进行大修理，在企业经济条件许可时，采取逐步更换的办法是可行的。

很明显，最好的方案是有形磨损期与无形磨损期相互接近，这将具有很大的意义。这是一种理想的“无维修设计”。也就是说，当设备需要进行大修理时，恰好到了更换的时刻。但是在多数情况下，这是难以做到的。

此外，还应看到，第Ⅱ种无形磨损虽使设备贬值，但它是社会生产力发展的反映。这种

磨损愈大，表示社会技术进步愈快。因此，应该充分重视对设备磨损规律性的研究，加快技术进步的步伐。

7.2 经济寿命的确定方法

研究设备的经济寿命，就是研究设备的最佳更新期和最佳折旧年限。它是研究设备修理、改造、更新、折旧、报废等问题决策的重要依据。

关于设备的经济寿命的基本概念，主要包含有两种概念：一种概念是指设备从开始使用到其年均费用最小的年限。使用年限超过设备的经济寿命，设备的年均费用又将上升，所以设备使用到其经济寿命的年限更新最为经济。另一种概念是，对生产设备来说，设备经济寿命的长短，不能单看年均费用的高低，而是要从使用设备时所获得总收益的大小来定。也就是说，要在经济寿命这段有限的时间内获得最大的总收益。

根据这两种概念，均可求出设备的经济寿命，并根据设备的实际技术状况，从而确定设备最合适的更新时机。在具体的设备更新方案中，有两方面的问题需要解决：一是要不要更新，什么时候更新最经济？二是用什么样的设备来更新最适宜？

本节要讨论的是第一个问题，即如何决定设备的最佳更新期。

设备更新的最佳时机，应根据不同的设备类型选用各种方法计算，主要有：最大总收益法、最小年均费用法、劣化数值法。

7.2.1 最大总收益法

对生产设备来说，总输入 Y_1（即设备寿命周期费用）和总输出 Y_2 的方程分别为

$$\left.\begin{aligned} Y_1 &= P + V \cdot t \\ Y_2 &= (A \cdot E^*)t \end{aligned}\right\} \tag{7-8}$$

式中 P——设备原始价值，元；

V——年可变费用，元/年；

t——使用年限，年；

A——可利用率，%；

E^*——最大年输出量（即 $A=1$ 时的输出），元/年。

设备在不同使用期的可变费用 V 并不是常数，而是随使用年限（役龄）的增长而逐渐增长的。

设

$$V = (1+\beta t)V_0 \tag{7-9}$$

式中 β——可变费用增长系数；

V_0——起始可变费用，元/年。

将式（7-9）代入式（7-8）得寿命周期费用方程

$$Y_1 = \beta V_0 t^2 + V_0 t + P \tag{7-10}$$

这样，设备总收益 Y 的方程为

$$\begin{aligned} Y &= Y_2 - Y_1 \\ &= AE^* t - (\beta V_0 t^2 + V_0 t + P) \\ &= -\beta V_0 t^2 + (AE^* - V_0)t - P \end{aligned} \tag{7-11}$$

如果欲求 Y_{max} 值，可对 t 微分，并令其等于零，即可求出最大收益寿命。

例 7-2 设某设备的实际数值和参数如下：

$P=20000$ 元，$V_0=4000$ 元，$\beta=0.025$，$A=0.8$，$E^*=10000$ 元/年，暂不考虑资金的时间因素。试求该设备的平衡点（即收支相抵），何时可得最大总收益？

解 将已知参数代入式（7-11），得

$$Y=-100t^2+4000t-20000$$

令 $Y=0$，求 t 值（即平衡点），得

$$100t^2+4000t-20000=0$$

$t_1=5.86$ 年，$t_2=34.14$ 年

即 第一平衡点是 5.86 年，第二平衡点是 34.14 年。

下面进一步分析利润函数，求最大总收益（利润）值。为此，总收益方程对 t 微分，并令其为零，得

$$Y'=-200t+4000 \qquad Y''=-200$$

$$-200t+4000=0$$

$$t=20 \text{ 年}$$

即 设备使用 20 年时总收益最大，这时的最大总收益值为

$$Y_{max}=100\times(20)^2+4000\times20-20000=20000(\text{元})$$

可以得出，当设备使用到第 6 年时，开始收益，使用到第 20 年时，总收益为最大（20000 元）。如果设备使用期超过 20 年，总收益反而降低，到第 34 年时，总收益又等于零。因此，当本设备使用期达 20 年左右时，更新较为恰当。

7.2.2 最小年均费用法

上述以最大总收益来评价设备经济寿命的方法，对一些“非盈利”的设备。如小汽车、某些电气设备、家用设备、行政设备和军用装备等，很难求得收益函数。另外，最大总收益法在计算上也复杂，为实用起见，故介绍最小年均费用法。

年均费用（即年均使用成本）是由年均运行维护费用和年折旧费两部分组成。可按式（7-12）表示

$$C_i=\frac{\sum V+\sum B}{T} \tag{7-12}$$

式中 C_i——i 年的年均费用，元/年；

$\sum V$——累计运行维护费用，元；

$\sum B$——累计折旧费，元；

T——使用年限，年。

计算设备每年的年均费用值，观察各种费用的变化时，年均费用值最小的年份即为最佳更新期，也即设备的经济寿命。

例 7-3 有一台磨木机以 60000 元购入，实行加速折旧，每年的运行维护费用和折旧后的每年残余价值，见表 7-2。试计算其最佳更新期。

表 7-2 磨木机每年的运行维护费用和残余价值

使用时间/年	1	2	3	4	5	6	7
运行维护费用/元	1000	1200	1400	1800	2300	2800	3400
残余价值/元	3000	1500	750	375	200	200	200

解 根据表 7-2 的数据，按式（7-12）计算，结果见表 7-3。

表 7-3　费用计算

使用时间/年	1	2	3	4	5	6	7
累计维持费用/元 ΣV	10000	22000	36000	54000	77000	105000	139000
累计折旧损耗/元 ΣB	30000	45000	52500	56250	58000	58000	58000
总使用成本/元 $\Sigma V+\Sigma B$	40000	67000	88500	110250	135000	135000	197000
年均费用 C_1/元	40000	33500	29500	27560	27000	27170	28140

如第 4 年的年均费用为　$C_4=\dfrac{\Sigma V+\Sigma B}{T}\approx 27560$(元)

从表 7-3 清楚地看到，第 5 年年末为最佳更新期，因为这时年均费用（27000 元）为最小。

7.2.3　劣化数值法

在上面计算年均费用的方法中，由于设备每年的运行维持费用通常事先是不知道的，而无法预先估计设备的最佳更新期。

随着使用年限的增长，设备的有形磨损和无形磨损越是加剧，设备的运行维修费用越是增加，如果能按照统计资料预测这种劣化程度每年以 λ 的数值呈线性的递增，则就可能在设备的使用早期即可测定设备的最佳更新期。

假定设备经过使用之后的残余价值为零，并以 K_0 代表设备的原始价值。T 代表使用年限，则每年的设备费用为 K_0/T。尚须考虑设备在 T 年内的劣化损失：第 1 年的劣化值为 λ，第 2 年为 2λ，第 T 年为 $T\lambda$，其 T 年内平均劣化值为

$$\frac{\lambda+2\lambda+\cdots T\lambda}{T}=\frac{(T+1)\lambda}{2} \tag{7-13}$$

随着 T 的增长，K_0/T 值减小，$(T+1)/2$ 值增大。设备的年均费用 C_i 可按式 (7-14) 计算

$$C_i=\frac{K_0}{T}=\frac{(T+1)\lambda}{2} \tag{7-14}$$

若使设备年均费用最小，则取 $\dfrac{\mathrm{d}C}{\mathrm{d}T}=0$，得最佳更新期

$$T_0=\sqrt{\frac{2K_0}{\lambda}} \tag{7-15}$$

将此值代入式 (7-14)，即可得最小年均费用。

例 7-4　某设备的原始价值为 8000 元，设每年运行维护费用的平均超额支出（即劣化值增加值）为 320 元，试求设备的最佳更新期。

解　设备的最佳更新期为

$$T_0=\sqrt{\frac{2K_0}{\lambda}}=\sqrt{\frac{2\times 8000}{320}}=7(\text{年})$$

如果逐年计算年均费用，然后加以比较，也可以得到同样结果，见表 7-4。从表中看出，第 7 年的年均费用最小，这就是设备的最佳更新期。

表 7-4　设备最佳更新期的计算

使用至 T 年	设备费用 $\left(\frac{K_0}{T}\right)$/元	平均劣化值 $\frac{\lambda(T+1)}{2}$/元	年均总费用/元	使用至 T 年	设备费用 $\left(\frac{K_0}{T}\right)$/元	平均劣化值 $\frac{\lambda(T+1)}{2}$/元	年均总费用/元
1	8000	320	8320	6	1333	1120	2453
2	4000	480	4480	7	1143	1280	2423
3	2667	640	3307	8	1000	1440	2440
4	2000	800	2800	9	889	1600	2489
5	1600	960	2560				

以上例题的计算，都没有考虑各年费用的时间因素，而实际运算应用中，费用的时间因素还是应该计算进去的。如果考虑利息因素，设 $i=10\%$，则上例结果见表 7-5。

表 7-5　设备最佳更新期的计算

年份	当年劣化值①	现值系数②	劣化现值③	累计劣化现值④	资金回收系数⑤	年均劣化值⑥	年均设备费用⑦	年均总费用⑧
1	320	0.9091	290.9	290.9	1.1000	319.99	8800	9119.99
2	640	0.8264	528.9	819.8	0.57619	472.36	4609.5	5081.86
3	960	0.7513	721.2	1541.0	0.40211	619.65	3216.0	3836.55
4	1280	0.6830	874.2	2415.2	0.31547	761.92	2532.8	3285.72
5	1600	0.6209	993.4	3408.6	0.26780	912.82	2142.4	3055.22
6	1920	0.5645	1083.8	4492.4	0.22961	1031.5	1846.9	2868.40
7	2240	0.5132	1149.6	5642.0	0.20541	1158.92	1643.3	2802.22
8	2560	0.4665	1194.2	6836.2	0.18744	1281.38	1499.5	2780.88
9	2880	0.4241	1221.4	8057.6	0.17364	1399.12	1389.1	2788.22
10	3200	0.3855	1233.6	9291.2	0.16275	1512.14	1302.0	2814.14

① $=\lambda T=320T$，T 为年限。

② 表示 $i=10\%$ 的现值系数，数据查表获得。

③ 表示每年劣化值的现值，劣化现值＝当年劣化值×现值系数。

④ 表示累计劣化现值，即当年劣化现值与以前各年劣化现值之总和。

⑤ 表示 $i=10\%$ 的投资回收系数，查表可得。

⑥ 表示设备使用到 T 年的逐年平均劣化值，年均劣化值＝累计劣化现值×资金回收系数。

⑦ 表示设备使用到 T 年的逐年平均设备费用，年均设备费用＝8000×资金回收系数。

⑧ 表示设备使用到 T 年的逐年平均总费用，年均总费用＝年均劣化值＋年均设备费用。

根据上面的计算结果，考虑利息因素计算出的最佳更新期为 8 年，比不考虑利息的计算延长一年。应该说，这个更新期（8 年）更符合实际些。

7.3　制浆造纸设备大修及技术改造的技术经济分析

7.3.1　制浆造纸设备大修的技术经济分析

设备大修的经济界限是，一次大修所用的费用 R 应符合式（7-16）

$$R < K_t - L \tag{7-16}$$

式中　K_t——当时该设备的重置价值（或新设备的价值）；

L——设备残值。

显然，如果设备在该时期的残值加上大修费用等于甚至大于新设备的价值时，那么，这样的大修就是不合理的。这时，宁可购买新设备也不去进行大修了。

在实际工作中，由于修理工作组织不当，致使修理成本很高，有时甚至超过新设备的价值。从经济的观点来看，这样的修理当然是不合算的。但由于购置新设备的经费无处筹集，大修的费用又不能用来购置新设备。用户得不到新设备，往往被迫进行高价的修理。为节约社会劳动耗费，讲求经济效果，应该在投资政策上加以调整，避免发生类似情况。但是符合上述条件的大修在经济上是不是真正合算，还应考虑修理，一般来说，设备大修后的生产技术特性往往比不上同种新设备。比如，设备大修之后，常常缩短了下一次大修的间隔期。同时，修理后的设备与新设备相比，技术上的故障往往较多，设备停歇时间较长，日常维护和小修费用增多，设备运行维护的费用增加。因此，设备修理的质量对于单位产品成本的大小有很大影响。只有大修后使用该设备生产的单位产品成本有关设备费用部分 C_1 值，在正常使用情况下，不超过用相同新设备生产的单位产品成本有关设备费用部分 C 值，这时的大修在经济上才是合算的。两者的成本之差 ΔC 为

$$\Delta C = C - C_1 \geqslant 0 \tag{7-17}$$

以上的分析表明，设备大修的经济界限应同时满足两个条件，即式（7-16）和式（7-17）。如果设备超过了这个经济界限仍继续进行大修，或延长设备使用年限都是不经济的，那时就应该更新设备。

可见，式（7-16）是大修经济界限的必要条件。而式（7-17）是大修经济界限的充分条件。在设备技术进步较快的情况下，后一种经济界限更为重要。

7.3.2 制浆造纸设备技术改造的技术经济分析

在数种设备磨损的方案中，要确定设备技术改造是否属最佳选择，应进行经济性比较，通常与设备技术改造同时可供选择的方案有：旧设备继续使用；对旧设备进行大修理；用相同结构的新设备或效率更高的新型设备来替换原有旧设备。

设备技术改造的经济性分析，着重就设备技术改造与设备更新和设备大修比较其设备投资、成本和生产率的方法来进行，表 7-6 列出了各参数符号，以供进行分析比较。

表 7-6 经济分析用参数及其符号

指　　标	可供选择方案		
	大　修	设备技术改造	设备更新
基本投资(费用)	K_t	K_m	K_n
设备年生存率	G_t	G_m	G_n
单位产品成本中设备费用部分/(元/件)	C_t	C_m	C_n

一般情况下，上述指标具有下列关系式。

$$\left.\begin{aligned} K_r > K_m > K_n \\ G_r > G_m > G_n \\ C_r > C_m > C_n \end{aligned}\right\} \tag{7-18}$$

分析式（7-18），可能出现下列几种情况。

（1）当 $\dfrac{K_r}{G_r} > \dfrac{K_m}{G_m}$，$C_r > C_m$ 时可根据投资回收期 T 的标准进行比较，式（7-19）中 T 表

示追加投资回收期。T 数值越小，则表示通过节约成本而实现的回收期越迅速。

$$T=\frac{\frac{K_m}{G_m}-\frac{K_r}{G_r}}{C_r-C_m} \tag{7-19}$$

一般情况下，计算所得的回收期 T 可与规定的标准投资回收期 T_a 相比较，若 $T<T_a$，则选择设备技术改造这一方案。如果相反，即使 $C_m<C_r$，设备技术改造方案也是不可取的。

(2) 当 $\frac{K_m}{G_m}>\frac{K_n}{G_n}$，$C_m>C_n$ 时，显然，设备更新是最佳方案。

(3) 当 $\frac{K_m}{G_m}<\frac{K_n}{G_n}$，$C_m>C_n$ 时，同样可以用投资回收期标准进行判断，即

$$T=\frac{\frac{K_n}{G_n}-\frac{K_m}{G_m}}{C_m-C_n} \tag{7-20}$$

当 T 小于或等于标准投资回收期时，设备更新的方案是合理的。如果超过了规定的回收期标准，则应选择设备技术改造这一方案。

7.3.3 制浆造纸设备技术改造的工作程序

(1) 制浆造纸设备技术改造任务书　设备技术改造任务书可按企业的具体情况，主要由设备使用部门、工艺技术部门、设备动力部门和安全环保部门提出进行技术改造的理由和应达到的目标。

为了简化手续，一般情况下，可将设备技术改造任务书兼作设备技术改造申请书 。各企业可根据企业情况将表式作调整、补充、扩展，使之符合本企业的实际。并按设备管理权限和技术改造工作量的大小办理相应的审批手续。并由技术改造部门初步编号并实施管理。

制浆造纸设备改装改造申请书，见表 7-7。

表 7-7　制浆造纸设备改装改造申请书

单位：　　厂　　申请日期：　　年　月　日

<table>
<tr><td>设备编号</td><td>设备名称</td><td>型号规格</td><td>制造厂地</td><td>上次修理日期</td><td>使用单位</td><td>设备类别</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="7">改装改造目的和预期效果：</td></tr>
<tr><td colspan="7">项目和内容：</td></tr>
<tr><td colspan="7">预算和人力、物力准备情况：</td></tr>
<tr><td rowspan="4">附：技术文件</td><td>文件编号</td><td colspan="2">技术文件名称</td><td>页数</td><td>份数</td><td>备注</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2"></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2"></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2"></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="3">工艺技术部门意见：</td><td colspan="4">设备动力部门意见：</td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="2">总工程师审批：</td><td colspan="4">厅(局)设备科审批意见：</td></tr>
<tr><td colspan="4">注：凡精、大、稀及进口等局管设备需呈报厅(局)设备科审批</td></tr>
</table>

申请单位负责人：　　编拟人：

(2) 制浆造纸设备技术改造项目的确定

① 设备技术改造方案的主要内容

a. 设备目前存在的主要问题和原因分析。

b. 设备技术改造的部位和拟采用的改进措施。

c. 设备技术改造的示意图和原理图。

d. 设备经过技术改造后，预计可达到的技术经济目标。

e. 设备技术改造费用估算，及初步技术经济效果的分析。

f. 设备技术改造方案提出者和日期。

② 设备技术改造方案的论证。设备技术改造的论证主要从技术上的必要性和可能性方面进行分析，同时应进一步讨论其经济方面的合理性。以确定较佳的设备技术改造方案。

③ 设备技术改造项目的审批。一般设备的技术改造项目，由工厂技术负责人授权设备动力部门负责人审批。精密、大型设备的技术改造项目由工厂技术负责人审批。各行业部门的关键设备进行的重大技术改造项目，需报上级主管部门审批。

(3) 设备技术改造计划的编制

① 设备技术改造计划，应根据各企业机构设置的具体情况，由企业技术负责人组织有关部门编制。

② 设备技术改造计划的主要内容

a. 设备技术改造项目编号和项目的主要内容。

b. 项目申请部门负责人、设计部门负责人、实施部门负责人。

c. 设计工作进度、生产技术准备进度、实施进度、验收评价日期。

d. 费用计划、资金来源等。

③ 企业计划经济部门应进行综合平衡

a. 若设备技术改造任务可结合大修理进行，则该项目应转至设备动力部门，纳入设备年度大修理计划。

b. 应在每年四季度完成下一年度设备技术改造计划的平衡编报工作，并纳入工厂生产经营计划下达实施。

(4) 设备技术改造的设计工作　设备技术改造的设计工作一般可由以下单位承担。

① 结合设备大修理进行的设备技术改造项目，一般由本企业设备动力部门承担。

② 设备技术改造任务比较繁重的企业，可设立专门的机构来承担设备技术改造的设计任务。

③ 必要时也可委任国内外设备修造厂的科研、设计单位承担设备技术改造的设计任务。

精密、大型、稀有设备技术改造的总图应由企业技术负责人批准，一般设备技术改造设计总图，由承担设计任务的工作部门负责人批准。

(5) 设备技术改造项目的实施　结合大修理进行的设备技术改造项目，由设备部门的有关组织负责生产技术准备工作，并可按设备大修理渠道，下达加工、制造、修复、改造、调试任务。

对某些设备技术改造任务比较重的企业，为了不影响生产和维修任务的正常进行，对维修的人力和资源进行合理的安排，可成立专业设备制造工程的车间或分厂承担设备技术改造任务，亦可委托外厂实施。

(6) 设备技术改造项目的竣工验收　结合大修理进行的设备技术改造项目的验收，可按

设备大修理渠道进行验收。较重大的设备技术改造项目竣工验收，由企业总工程师，使用车间组织工艺、技术、安全环保、质量检验、计划、财务、设备、动力、基建部门等单位参加验收。

设备技术改造的验收条件如下。

① 技术改造后的设备应符合技术改造任务书的基本要求，验收后移交试用六个月。

② 应符合安全生产、环境保护的要求，外观完好。

③ 技术改造后，有关图纸资料和操作维护规程齐全，并符合实际使用要求。

设备技术改造项目验收合格后，应办完工手续。并同时办理变更设备固定资产值手续，必要时还要变更设备编号和型号等手续，有关技术文件应送设备动力部门资料室存档。

(7) 设备技术改造评价

① 设备技术改造前后技术经济效益评价。设备技术改造后，应注意积累各种技术经济数据，其中包括：

a. 设备生产效率变化情况；

b. 技术性能和各项参数的改善情况；

c. 原材料及辅料的消耗情况；

d. 单位产品的能耗水平；

e. 设备维修费用等方面的资料。

经过实际使用以后，将各项指标进行对比，并做出评价意见。

② 设备技术改造项目奖励。设备技术改造是带有革新性质的创造性劳动。因此，应按其实际产生的经济效益和技术水平，给予精神和物质奖励。

7.4 制浆造纸设备更新经济、技术分析及更新计划的编制、实施

设备更新是指用技术性能更完善、经济效益更显著的新型设备来替换原有技术上不能继续使用，或经济上不宜使用的陈旧设备。进行设备更新目的是为了提高企业技术装备的现代化水平，以提高产品质量，提高设备生产效率，降低消耗和迅速适应企业生产经营目标，加强企业在国内外市场生存和竞争能力。

(1) 设备更新方式

① 原型更换。设备经过多次大修已无修复价值，但尚无新型设备可替代，只能用原型号新设备来更换已陈旧的设备，这样能达到保持原有生产能力，保证设备安全正运行的目的。

② 新型更新。以结构更先进、技术更完善、性能更好、效率更高、耗能更少的新设备来更新陈旧的设备，这是设备更新的主要方式。积极开展设备更新工作，可以充分挖掘现有企业潜力，不断加速企业技术进步的步伐，比新建一个企业具有投资少、见效快等优点。

(2) 设备更新的途径　积极开展设备更新，可以调整设备拥有量的构成比，使先进的、高效的设备所占的比例逐渐提高，以不断改变落后的生产方法，不断淘汰过时的老设备，使企业的设备构成能适应经济发展的要求。设备更新的主要途径如下。

① 减少普通设备比重，增加精密设备比重。

② 增加高效自动化设备的比重。

③ 增加特种设备比重。

(3) 设备更新的对象

① 役龄过长的设备。

② 性能、制造质量不良的设备。

③ 经过多次大修已无修复价值的设备。

④ 技术落后的设备。

⑤ 不能适应于新产品发展的设备。

⑥ 浪费能源的设备。

凡遇上述各类设备，应该优先列入考虑进行设备更新的清单，但还要通过进一步技术经济分析以后才能做出设备更新决策。

7.4.1 制浆造纸设备更新的技术性分析

(1) 新设备的基本规格和主要参数　包括：工作范围；运行速度和生产效率；设备精度和工程能力；超负荷运行的持久性；动力和资源的消耗水平和供应的可能性。

(2) 新设备的机构和装置　需考虑：通过采用新的自动装置后，辅助装置调整工作时间是否减少。新设备的结构和精度是否能确保加工质量。控制装置、安全装置、特殊辅助装置等机构是否齐全。

(3) 新设备操纵性和可靠性

① 调整和更换工装夹具是否更为容易。

② 是否能减少对操作工操作技能的依赖性，以减少人为的因素对加工质量的影响。

③ 能否用一台新型设备来承担两台以上旧设备的工作量。

④ 设备的可靠性和维修性有否改善。

⑤ 新设备能否消除费力的手工作业和改善劳动条件。

⑥ 新设备是否符合环境保护要求。

⑦ 新设备能否节省占地面积和减少辅助设施，使作业环境比较理想。

⑧ 新设备能否为用户提供良好的服务。

(4) 经济方面的有关问题　包括新设备的投资是否能很快收回；新设备的有效使用寿命是否足够适宜；新设备的维修费用、功能消耗、使用费用是否较旧设备低；购买新设备的资金是否落实；若通过贷款更新设备，是否具备偿还能力等。

7.4.2 制浆造纸设备更新的经济性分析

企业所做出的有关设备更新的投资决策，是根据企业设备更新的具体情况，如财务收支、产品技术要求、经营方针和更新类别等做出的综合结论。对于用新设备代替旧设备这类问题，可用贴现现金流量法求收益率来评价。

(1) 现金支出　购置新设备、建造有关的厂房时，企业要支出以下费用。

① 购置新设备的基本费用。

② 建造与设备有关厂房以及设备运输、安装费用等。

③ 其他费用，如培训费、临时停工损失、负责人的增加工资等。这些费用通常列入当年的经营管理费内。因此，在计算费用支出时，只列其税后值。

④ 此外，企业由于购置新设备而相应增加的流动资金也应包括在投资的现金支出内。

现金收入计算公式如下

$$\text{总现金支出} = \text{新设备和厂房费用} + \text{其他费用的税后值} + \text{新增加的流动资金} - \text{出售旧设备的净收入} \tag{7-21}$$

①、②两项费用构成了设备和厂房的会计（帐面）值，并据此计算年折旧。

（2）现金收入　企业购置新设备后会有两种效果：一是增加产量，也即增加销售收入；二是未增加销售收入，但降低了成本。

现金收入是按期（年）计算的，对于第一种情况，企业每年增加的税后现金收入可按式（7-22）计算

$$\begin{aligned}\text{年现金收入}&=(\text{当年增加的销售收入}-\text{当年增加销售收入所发生的成本费用})\\&\quad\times(1-\text{税率})+\text{当年折旧费}\\&=\text{当年增加税后收益}+\text{当年折旧费}\end{aligned}\tag{7-22}$$

当年增加的销售收入是指因购置新设备而增加的销售收入。当年增加销售收入所发生的成本费用，包括折旧费、原材料、直接劳务费等。这两项费用之差就是当年增加的税前收益，纳税后加上设备当年折旧费求得当年的税后总现金收入。

对于第二种情况，此时可把降低的成本和新增的折旧费加在一起计算收入。即

$$\text{年现金收入}=(\text{当年降低的成本}-\text{多提的折旧费})\times(1-\text{税率})+\text{多提的折旧费}\tag{7-23}$$

（3）投资收益率　可利用贴现现金流量法求投资收益率。

例 7-5　某厂欲买一台价值为 15500 元的新设备以代替旧设备，不需增加流量资金。出售旧设备的净收入为 1500 元，账面值为 2000 元，税率为 50%。新旧设备经济寿命都为 5 年，采用新设备后年可变成本可节省 5000 元，流动资金仍为 3000 元（原有的）。试评价用此新设备代替旧设备是否可行？

解

① 按照式（7-21）计算现金支出

$$\begin{aligned}\text{总现金支出}&=15500+(1500-2000)\times50\%+0-1500\\&=13750\ (\text{元})\end{aligned}$$

② 按照式（7-23）计算现金收入

$$\text{年现金收入}=\left(5000-\frac{15500-2000}{5}\right)\times(1-50\%)+\frac{15500-2000}{5}=3850(\text{元})$$

③ 计算投资收益率

由 $13750=3850\ (P/A,\ i,\ 5)$ 得

$$(P/A,i,5)=3.57$$

查表得 $i=12.4\%$，投资收益率大于企业最低收益率（如 10%），此方案是可考虑的。如果在方案中卖旧设备和买新设备可增加销售收入，那么，由此引起每期增加的现金收入和相应的支出都应计入该期的现金收入中。设备大修也可用此法来计算和评价。

上述方法不仅用于单台设备更新的评价，而且其原理也同样适用于整个工厂改造和更新的评价，只不过计算的工作量较大而已。

7.4.3　制浆造纸设备更新计划的编制和实施

（1）设备更新工作规划　企业应根据实际设备结构情况、技术装备水平和今后经营发展方向、设备更新资金来源制定设备更新中长期规划，使企业设备的状况能适应企业的发展需要，并使设备更新工作能按预定目标展开，从而避免企业短期行为，减少盲目性。

企业设备更新工作规划由企业技术负责人领导，并组织有关业务部门参加编制。设备更

新项目的提出，通常可按下述原则进行。

① 因生产发展需要，以提高设备生产效率为主要目标的，可由生产计划部门提出，通过这类设备更新达到缓解设备能力不足的问题。

② 为发展新品或提高产品质量（升级换代）满足技术工艺要求而进行的设备更新可由技术、工艺部门提出。

③ 由于设备结构陈旧，无修复价值，需更新替换项目，可由设备动力部门提出。

④ 为提高设备安全性和满足环境保护要求为目标的设备更新项目，一般由安全环保部门提出。

(2) 设备更新计划编制　按企业中长期设备更新规划中提出的目标，再编制具体的设备更新年度计划。

设备更新计划一般由设备管理或技改部门编制，经经济计划部门的综合平衡，报企业领导审批后实施。也有的企业是在设备动力部门提出初步意见后，由企业规划部门编制、经平衡后报企业领导审批。

(3) 设备更新计划的主要内容　设备更新计划与一般设备增添计划有区别，设备更新计划具有明确的替换对象，实施设备更新计划结果常常会使企业的设备拥有量相对减少，这对挖掘企业潜力，提高设备厂房利用率、节约能源都是有利的。

设备更新计划的主要内容如下。

① 被更换旧设备的编号、名称、型号、制造厂、安装年月、安装地点、原值、净值。

② 拟购置设备的名称、型号、技术参数、制造厂价格。

③ 明确指明设备的购置部门、安装和验收部门。

④ 要求到货日期。

⑤ 要求投产日期。

(4) 设备更新计划的实施和管理　设备更新计划一般拟由设备管理或技术改造部门实施。设备管理部门熟悉被更新设备的情况以及对更新设备的要求，且对社会可供设备资源情况和质量情况比较熟悉。

有的大中型企业里可专门设立设备前期管理组或技术改造办公室，其工作包括从参与设备规划论证、编制，直到设备更新计划拟订，设备信息收集汇总分析、反馈，设备更新计划具体实施总结等内容。

(5) 设备更新计划的考核与评价　设备更新计划的实施结果将会改善企业技术装备水平和促使设备新度系数的提高。认真负责实施设备更新计划已列为上级考核企业领导的业绩重要内容之一。

在企业内，设备更新计划由计划部负责考核，或由厂长指定的综合考核部门进行考核。设备更新计划应按预定的目标实施，如有特殊情况需要修改计划时，应报请企业分管领导批准后再作变动决定。

企业综合技术部门，如总工程师室应会同设备动力部门对已更新的设备实际运转后的技术情况和达到的经济效果进行评价。

设备初期运行的参数的记录应存储于设备技术档案，以备查阅。

(6) 设备更新资金　设备更新资金是实施设备更新计划的必要经济保证和基本条件。企业财务部门负责设备更新资金的筹措，并对设备更新资金的正确合理使用进行监督检查。

设备更新资金的来源主要有以下几个方面。

① 企业设备资产的基本折旧。

② 从生产发展基金中提取一部分。

③ 在确保完成企业的设备修理计划的情况下，可将大修理基金结余部分用于设备的更新。

④ 设备报废处理时的残值收入和设备有偿调拨后的价款收入。

⑤ 通过贷款或以租赁方式分期付款。

已列入年度的设备更新资金，必须坚持专款专用，不能挪作他用，以确保设备更新工作正常进行。

7.5 制浆造纸专用设备修理复杂系数及其计算

7.5.1 修理复杂系数

机器设备种类繁多，不仅有大有小，有长有短，而且构造繁简、精度高低程度等都不一样，这些差异都不能简单地反映维修量的大小。为了维修工作的需要，要求建立起一个能普遍适用和确切反映其维修工作量大小的假定单位，这个单位称为修理复杂系数（用 F 表示）。

修理复杂系数是用来表示各种设备的修理复杂程度，它是由设备的结构特点、工艺特性、零部件尺寸等因素决定的。设备越复杂、加工精度越高、零部件的尺寸越大、则修理的工作量越大，修理的复杂系数就越大。

通常机械设备复杂系数用“JF”表示，它是以标准等级的机修钳工大修一台 C620-1 普通车床所消耗的劳动量的 1/10 作为一个假定单位的消耗劳动量。也就是说，规定 C620-1 机床的修理复杂系数为 10。其他机械设备的修理复杂系数，都是用这个统一的假定单位比较和度量。

电气设备修理复杂系数用“DF”表示，它是以标准等级的电工彻底检修一台额定功率为 0.6kW 的防护式异步鼠笼电动机所耗用的劳动量的复杂程度假定为一个电气修理复杂系数。

上述的方法称为分析比较法，这种方法不够精确，只有特殊的情况方能使用。通常是根据设备的结构及特性系数进行公式计算。

设备复杂系数有如下用途。

① 用来表示整个企业的设备维修工作量大小，以此可用来确定设备的管理组织机构，以及配备适当的维修设备和人员。

② 估计设备维修所需的各种材料，以此作为制定各种定额的依据。

③ 从各个企业不同的平均修理复杂系数中，可以看出各个企业机器设备的复杂程度。

④ 它可以作为开展劳动竞赛等工作的统一依据。

制浆造纸设备修理复杂系数见表 7-8～表 7-19。

表 7-8 制浆造纸备料设备修理复杂系数

设备名称	规格	机械修理复杂系数	设备名称	规格	机械修理复杂系数
	起重量(t)×跨距(m)			起重量(t)×跨距(m)	
门式起重机	10×18	25	桥式起重机	10×16.5	17
门式起重机	16/(3×20)	30	桥式起重机	15/(3×19.5)	20
门式起重机	20/(5×31.5)	42	桥式起重机	20/(5×31.5)	28

表 7-9　制浆造纸切料设备修理复杂系数

设备名称	型号	规　格	机械修理复杂系数	设备名称	型号	规　格	机械修理复杂系数
		直径(mm)×个数				直径(mm)×个数	
削片机	ZMX_1	ϕ950×6	4	刀辊切苇机	ZCQ31	(ϕ350×460×3)	4.5
削片机	ZMX_3	ϕ2600×8	21.5	刀辊切草机	ZCQ2	(ϕ430×690×3)	5.5
削片机	ZMX_4	ϕ3350×10	30	刀辊切竹机	ZCQ21	(ϕ400×500×3)	5
刀盘切苇机	ZCQ11	ϕ2200×4	11.5	羊角除尘器	ZCC2	ϕ750×1000	5

注：（　）内为直径（mm）×长度（mm）×个数。

表 7-10　制浆设备修理复杂系数

设备名称	型号	规　格	机械修理复杂系数	设备名称	型号	规　格	机械修理复杂系数
		直径(mm)×宽(mm)或[容积(m^3)]				直径(mm)×宽(mm)或[容积(m^3)]	
单链式磨木机	ZJM_1	ϕ1500×615	17	蒸煮锅②	ZJG_{22}	200	39
双链式磨木机	ZJM_2	ϕ1520×1280	38	蒸煮锅②	ZJG_{12}	220	26.5
蒸球	ZJQ_2	25	9.5	喷放锅③	JQZ_{1798}	225	21
蒸煮锅①	ZJG_3	110	21.5				

①—碱法。②—酸法。③—复合板。

表 7-11　二氧化硫沸腾炉复杂系数

设备名称	规格	机械修理复杂系数	设备名称	规格	机械修理复杂系数
	炉膛面积/m^2			炉膛面积/m^2	
沸腾炉	3	50	沸腾炉	4.8	55

表 7-12　制浆造纸洗浆设备修理复杂系数

设备名称	型号	规格/m^2	机械修理复杂系数	设备名称	型号	规格/m^2	机械修理复杂系数
侧压浓缩机	ZNC_2	4.5	4.5	圆网浓缩机	苏式 240	14	6
侧压浓缩机	ZNC_3	7	5.5	真空洗浆机①	ZNK_{12}	10	12
圆网浓缩机	ZNW_3	8	5.5	真空洗浆机①	ZNK_{14}	20	18.5

①—单台。

表 7-13　制浆造纸筛选设备修理复杂系数

设备名称	型号	规　格	机械修理复杂系数	设备名称	型号	规　格	机械修理复杂系数
		/m^2 或[直径(mm)×高(mm)]				/m^2 或[直径(mm)×高(mm)]	
振框式平筛	ZSK_2	0.9	2.5	离心筛	ZSL_4	2.4	4
振框式平筛	ZSK_3	1.8	3	立式旋翼筛	ZSL_{12}	ϕ400×450	3
离心筛	ZSL_2	0.9	3	立式旋翼筛	ZSL_{13}	ϕ600×620	3.5
离心筛	ZSL_3	1.6	3.5				

表 7-14　制浆造纸漂白设备修理复杂系数

设备名称	型号	规格 直径(mm)×容积(m^3)	机械修理复杂系数	备注
升流式氯化塔	ZPT_3	φ2800×85	8.5	60t/d
降流式氯化塔	ZPT_{12}	φ2800×35	7	60t/d
降流式漂白塔	ZPT_{22}	φ2800	4	60t/d(只底部)
漂浆机	ZPC_1	20	5.5	
漂浆机	ZPC_2	35	4.5	少一个洗鼓

表 7-15　制浆造纸打浆设备修理复杂系数

设备名称	型号	规格 直径(mm)×宽(mm)或[容积(m^3)]	机械修理复杂系数	设备名称	型号	规格 直径(mm)×宽(mm)或[容积(m^3)]	机械修理复杂系数
圆柱精浆机	ZDY_1	φ280×210	3.5	槽式打浆机	ZDC_2	容积 5	8.5
圆柱精浆机	ZDY_2	φ400×300	5	槽式打浆机	ZDC_4Y	容积 10	11.5
双圆盘磨浆机	ZDP_{11}	φ450	4	水力碎浆机	ZDS_1	容积 1	4
双回转圆盘磨浆机	ZDP_{21}	φ915	6.5	水力碎浆机	ZDS_3	容积 5	6

表 7-16　造纸机修理复杂系数

设备名称	型号	纸宽/mm	机械修理复杂系数	设备名称	型号	纸宽/mm	机械修理复杂系数
双网单缸纸机	ZV_3	1092	25	长网多缸纸机			366
双网双缸纸机	ZV_4	1575	29	其中　配料部			31
长网多缸纸机			121	长网部		3150	41
其中　配料部			5	压榨部			51.5
长网部		1575	17.5	干燥部			238.5
压榨部			17.5	长网多缸浆板机			178
干燥部			81	其中　网部	ZJ_2	2400	18.5
长网多缸纸机①			150.5	压榨部			38.5
其中　长网部			22.5	干燥部			121
压榨部	ZW_4	1760	21.5	多圆网多缸纸板机			207.5
干燥部			95	其中　网部	ZC_6	2100	28
传动部			6.5	压榨部			23
施胶部			5	干燥部			156.5
长网多缸纸机			261				
其中　放料部			5.5				
长网部	ZW_8	2362	27				
压榨部			38				
干燥部			190.5				

① 带施胶部。

表 7-17　制浆造纸整饰及完成设备修理复杂系数

设备名称	型号	纸宽/mm	机械修理复杂系数	设备名称	型号	纸宽/mm	机械修理复杂系数
三辊压光机	PQZ_{1257}	2100	10	七辊压光机	ZY_5	2100	17
五辊压光机	ZY_3	1575	13.5	八辊压光机	ZY_7	3150	39.5

续表

设备名称	型号	纸宽/mm	机械修理复杂系数	设备名称	型号	纸宽/mm	机械修理复杂系数
圆筒卷纸机	ZU_3	1575	5.5	复卷机	ZWJ_3	3150	26.5
圆筒卷纸机	ZU_4	1760	6.5	超级压光机	ZWC_2	1760	44
圆筒卷纸机	ZU_6	2362	7	盘纸分切机			
圆筒卷纸机	ZU_7	3150	20	单刀切纸机	ZQW_2	1575	7
复卷机	ZW_1	787～1760	10.5	双刀切纸机	ZQW_{13}	2362	11
复卷机	ZWJ_2	2362	12.5	液压打包机	ZWD_1	40T	6

表 7-18　制浆造纸碱回收设备修理复杂系数

设备名称	型　号	规　格	机械修理复杂系数	设备名称	型　号	规　格	机械修理复杂系数
蒸发器	ZHZ_{13}	350m²×5效	45.5	碱回收炉	WGZ12/13-1		79.5
蒸发器	ZH-1	550m²×5效	54.0				

表 7-19　制浆造纸专用设备复杂系数

设备名称	型号	口径 /mm	机械修理复杂系数	设备名称	型号	口径 /mm	机械修理复杂系数
罗茨真空泵	ZBK_{11}	ϕ150	3	浆泵	$ZBJ_{12}J$	ϕ150	2.5
水环式真空泵	ZBK_4	ϕ150	3	浆泵	ZBJ_6	ϕ200	3.0
水环式真空泵	ZBK_7	ϕ300	5	药液泵	ZBY_4	ϕ100	2

7.5.2　制浆造纸专用设备修理复杂系数的计算

7.5.2.1　制浆造纸专用设备修理复杂系数的计算

$$ZF=A\ (F_{动}+F_{速}+F_{刮}+F_{精}+F_{件}+F_{重})$$

$$F_{动}=0.2D+0.1$$

$$F_{速}=0.1S+0.5$$

$$F_{精}=0.5(1+G)$$

$$F_{件}=0.0015L+0.001J$$

$$F_{重}=0.0004Z+0.3$$

式中　A——结构特性参数，其值见表 7-20；

$F_{动}$——由动作数目或运动数所决定的复杂系数；

D——动作数。从运动学的观点，由于设备的运动引起工艺过程变化的次数，即由设备的运动使生产工艺每发生一次变化，就称为一个动作次数，或因工艺需要设备必须的相当于运动的种数；

$F_{速}$——由运动变速级数所决定的复杂系数；

S——变速级数，即主要运动传动装置的速比之和，当无级变速时 $S=1.5$；

$F_{刮}$——由刮研面积所决定的复杂系数，其值大小的选取见表 7-21；

$F_{精}$——由精度所决定的复杂系数；

G——高级精度零件数量，对造纸设备把需研磨的辊类件视为高级精度零件，如压光机的压光辊，纸机的烘缸等；

$F_{件}$——由组成设备的零件种类和零件总数（外购标准件除外）所决定的复杂系数；

L——除外购标准件外的零件种类数；

J——除外购标准件外的零件总件数；

$F_{重}$——由设备总质量所决定的复杂系数；

Z——设备净重，kg。

表 7-20　结构特性参数

结构特性	A 值	结构特性	A 值
手动、结构简单	1	自动、结构较复杂、长网纸机	1.2
半自动、机械传动、圆网纸机、中低压	1.1	高压、结构复杂	1.25

表 7-21　由刮研面积决定的复杂系数

刮研面积/dm²	$F_{刮}$	刮研面积/dm²	$F_{刮}$	刮研面积/dm²	$F_{刮}$
≦ 10	～0.5	≦ 100	～2.5	≦ 300	～4.5
≦ 30	～1.0	≦ 150	～3.0	≦ 350	～5.0
≦ 50	～1.5	≦ 200	～3.5	≦ 400	～6.0
≦ 80	～2.0	≦ 250	～4.0	≦ 500	～7.0

机械设备的修理复杂系数与电气设备的修理复杂系数应分开计算和统计，不得混合。

7.5.2.2　管道，阀门修理复杂系数的计算

（1）100m 动力管道复杂系数的计算公式

$$F_{管}=0.25\sqrt{D}(1+K_1+K_2+K_3)$$

式中　D——管道直径，mm；

K_1——位置修正系数；

K_2——压力修正系数；

K_3——用途及材料修正系数，K_1、K_2、K_3 的值见表 7-22。

表 7-22　管道复杂系数计算 K_1、K_2、K_3 值

项目	管道类型	值	项目	管道类型		值
K_1 值	架空(4m 以上)	0.2	K_3 值	下水管、油管		0.1
	设备配管	0.5		腐蚀介质输送管		0.4
	工艺管道	0.4		水、空气、煤气、乳化液管		0
	其他铺设	0		蒸汽、凝结水、热水管	有保温	0.3
K_2 值	低压管	0			无保温	0.2
	高中压管	0.2		氧气、氢气、液化气、乙炔气管		0.2

（2）100m 通风管道复杂系数的计算公式

$$F_{风}=\frac{210}{\sqrt{L}}(1+K_1+K_2)$$

式中　L——风管截面周长，mm，$L<1000$mm 按 1000mm 算，$L>3500$mm 按 3500mm 算；

K_1——形状修正系数，方矩形风管 $K_1=0$，圆形风管 $K_1=0.15$；

K_2——材质修正系数，普通钢板风管 $K_2=0$，有色金属风管 $K_2=0.3$，塑料风管 $K_2=0.2$。

(3) 阀门修理复杂系数的计算公式

$$F_{阀}=\left(0.1+\frac{Dg-25}{375}\right)K_1K_2$$

式中 Dg——阀门直径，mm，Dg<25mm 时按 25mm 算；

K_1——压力修正系数，低压 $K_1=1$，中压 $K_1=1.7$，高压 $K_1=2.2$；

K_2——结构修正系数，闸门、截止阀、球阀、止回阀、旋塞、水嘴 $K_2=1$，室外消火栓 $K_2=1.5$，室内消火栓（明装）$K_2=1.8$，室内消火栓（暗装）$K_2=2$，减压阀 $K_2=3.5$，安全阀、真空阀 $K_2=2$。

7.5.3 制浆造纸设备修理复杂系数计算举例

(1) 制浆设备的修理复杂系数的计算

① ZMX_3 ϕ2600×8 刀削片机的修理复杂系数的计算

动作数目 输送喂料、旋转削片、分离输送。$D=3$，$F_{动}=0.2D+0.1=0.2\times3+0.1=0.7$。

变速级数 三角皮带一级传动。$S=1$，$F_{速}=0.1S+0.5=0.1\times1+0.5=0.6$。

刮研面积为 0，$F_{刮}=0$。

高级精度零件 $G=0$，$F_{精}=0.5(1+G)=0.5\times(1+0)=0.5$。

外购标准件除外的零件种类数 $L=236$；外购标准件除外的零件总件数 $J=891$。

$F_{件}=0.0015L+0.001J=0.0015\times236+0.001\times891=1.25$。

设备净重 $Z=37000$kg，$F_{重}=0.0004Z+0.3=0.0004\times37000+0.3=15.1$

结构特性 $A=1$，$ZF=A(F_{动}+F_{速}+F_{刮}+F_{精}+F_{件}+F_{重})$

$=1.2\times(0.7+0.6+0+0.5+1.25+15.1)$

$=21.78$，取 $ZF=21.5$。

② ZJM_1 ϕ1500×615 单链式磨木机

动作次数 磨石升温、链条传动，主机转动磨木、喷水冷却。

$D=4$，$F_{动}=0.2\times4+0.1=0.9$。

变速级数 三角皮带，减速机二级和一级各一个，齿轮传动。

$S=5$，$F_{速}=0.1S+0.5=1$。

无刮研，$F_{刮}=0$。

无高级精度件，$F_{精}=0.5$。

外购标准件除外，$L=232$；外购标准件除外，$J=668$。

$F_{件}=0.0015L+0.001J=1.016$。

设备净重 $Z=25250$kg。$F_{重}=0.0004Z+0.3=10.4$。

结构特性 $A=1.25$，$ZF=1.25\times(0.9+1+0.5+1.016+10.4)=17.27$，取 $ZF=17$。

③ ZJO_2 25m^3 ϕ3650 蒸球

动作次数 转动、喷放。$D=2$，$F_{动}=0.2D+0.1=0.5$。

变速级数 三角带、减速机二级、蜗轮蜗杆传动。$S=4$。

$F_{速}=0.1S+0.5=0.9$。

刮研面积为 45.0dm^2，$F_{刮}=1.3$。

无高级精度饲　$F_{精}=0.5$。

外购标准件除外，$L=101$，$J=191$，$F_{件}=0.0015\times101+0.001\times191=0.343$。

设备净重 $Z=12.5$t，$F_{重}=0.0004\times12500+0.3=5.3$。

结构特性：$A=1.1$，ZF$=1.1\times(0.5+0.9+1.3+0.5+0.343+5.3)=9.724$，取 ZF$=$9.5。

④ $ZNC_3$7m^2 侧压式浓缩机复杂系数的计算

动作次数　进料、脱水浓缩、卸料、喷水洗网笼。$D=4$，$F_{动}=0.2\times4+0.1=0.9$。

变速级数：三角皮带、减速机二级、一对齿轮。$S=4$，$F_{速}=0.1\times4+0.5=0.9$。

无刮研，$F_{刮}=0$。

无高级精度件，$F_{精}=0.5$。

外购标准件除外，$L=196$，$J=293$，$F_{件}=0.0015\times196+0.001\times293=0.587$。

设备净重 $Z=4100$kg，$F_{重}=0.0004\times\ 4100+0.3=1.94$。

结构特性 $A=1.1$，ZF$=1.1\times(0.9+0.9+0.5+0.587+1.94)=5.31$，取 ZF$=5.5$。

⑤ ZSL_3 1.6m^2 离心筛复杂系数的计算

动作次数　进料，旋转筛选，出料，喷水洗涤。$D=4$，$F_{动}=0.2\times4+0.1=0.9$。

变速级数　三角皮带。$S=1$，$F_{速}=0.1\times1+0.5=0.6$。

无刮研面，$F_{刮}=0$。

无高级精度件，$F_{精}=0.5$。

外购标准件除外，$L=66$　$J=128$，$F_{件}=0.0015\times66+0.001\times128=0.227$。

设备净重 $Z=2300$kg，$F_{重}=0.0004\times2300+0.3=1.22$。

结构特性 $A=1.1$，ZF$=1.1\times(0.9+0.6+0.5+0.227+1.22)\approx3.5$。

⑥ ZPC_1 20m^3 漂浆机复杂系数的计算

动作次数　转子旋转推进、两个洗鼓脱水和升降。

$D=5$，$F_{动}=0.2\times5+0.1=1.1$。

变速级数　三角皮带。$S=1$，$F_{速}=0.1\times1+0.5=0.6$。

刮研面积为 7.5dm^2，$F_{刮}=0.375$。

无高级精度件，$F_{精}=0.5$。

外购标准件除外，$L=196$　$J=546$，$F_{件}=0.0015\times196+0.001\times546=0.84$。

设备净重 $Z=3100$kg，$F_{重}=0.0004\times3100+0.3=1.54$。

结构特性 $A=1.1$，ZF$=1.1\times(1.1+0.6+0.375+0.5+0.84+1.54)\approx5.5$。

⑦ ZDP_{11} ϕ450 双盘磨浆机

动作次数　进料，进刀，转动旋转磨浆，加水稀释筛选，卸料。

$D=5$，$F_{动}=0.2\times5+0.1=1.1$。

变速级数　直接传动。$S=0$，$F_{速}=0.5$。

无刮研，$F_{刮}=0$。

无高级精度零件　$F_{精}=0.5$。

外购标准件除外，$L=93$，$J=127$，$F_{件}=0.0015\times93+0.001\times127=0.267$。

设备净重 $Z=1500$kg，$F_{重}=0.0004\times1500+0.3=0.9$。

结构特性 $A=1.2$，ZF$=1.2\times(1.1+0.5+0.267+0.9)\approx4.0$。

(2)造纸设备的修理复杂系数的计算

① $ZV_4$1575 双圆网双缸纸机

动作次数　两个圆网喷水、上料、脱水、吸水，两个烘缸烘干、刮刀、喷雾、卷取。$D=15$，$F_{动}=0.2\times15+0.1=3.1$。

变速级数　皮带，烘缸二对齿轮传动。$S=3$，$F_{速}=0.1\times3+0.5=0.8$。

刮研面积为 $30dm^2$，$F_{刮}=1.0$。

高级精度件　两个烘缸。$G=2$　$F_{精}=0.5\times(1+2)=1.5$。

外购标准件除外，$L=775$，$J=3604$，$F_{件}=0.0015\times775+0.001\times3604=4.77$。

设备净重 $Z=37000kg$，$F_{重}=0.0004\times37000+0.3=15.1$。

结构特性 $A=1.1$，$ZF=1.1\times(3.1+0.8+1+1.5+4.77+15.1)\approx29$。

② $ZW_4$1760 长网纸机

a. 网部

动作次数　匀浆，喷雾、上网(浆)、定形，定边，脱水，胸辊起落、刮刀、摇振、吸引、真空伏辊、压伏、洗涤，网调节。$D=15$，$F_{动}=0.2D+0.1C$。

式中　C——传动组数。取 $C=3$，$F_{动}=0.2\times15+0.1\times3=3.3$。

变速级数

调浆箱部分　减速机，$S_1=1$

摇振箱部分　三角带，摇箱，$S_2=2.5$

网部传动　三角带、锥轮，减速机。$S_3=3$

$$S=S_1+S_2+S_3$$

$$F_{速}=0.1\times6.5+0.5\times3=2.15$$

无刮研面积，$F_{刮}=0$。

高级精度件　真空伏辊，胸辊。$G=2$，$F_{精}=0.5\times(1+2)=1.5$。

外购标准件除外，$L=749$　$J=2905$，$F_{件}=0.0015\times749+0.001\times2905=4.029$。

设备净重 $Z=18271.5kg$，$F_{重}=0.0004\times18271.5+0.3\approx7.609$。

结构特性 $A=1.2$，$ZF_{网}=1.2\times(3.3+2.15+1.5+4.029+7.609)\approx22.5$。

b. 压榨部

动作次数　(引纸、加压、刮刀)×4，洗涤，挤水，调整张紧×3，$D=17$，及四组传动 $C=4$，$F_{动}=0.2\times17+0.1\times4=3.8$。

变速级数　(三角带，锥轮、减速机)×4。

无刮研面积，$F_{刮}=0$。

高级精度件，压榨辊三根，光压(平滑)辊两根，$G=5$，$F_{精}=0.5\times(1+5)=3$。

外购标准件除外，$L=323$　$J=2086$，$F_{件}=0.0015\times323+0.001\times2086=2.571$。

设备净重 $Z=12463kg$，$F_{重}=0.0004\times12463+0.3=5.385$。

结构特性 $A=1.2$，$F_{压}=1.2\times(3.8+3.2+3+2.571+5.385)\approx21.5$。

c. 烘干部

动作次数　(引纸、干燥、张紧、控制跑偏、刮刀、排汽)×3=18 及三组传动 $C=3$，$D=18$，$F_{动}=0.2\times18+0.1\times3=3.9$。

变速级数　(三角带、锥轮，减速机、缸齿)×3，$S=12$ 及 $C=3$，$F_{速}=0.1\times12+0.5\times3=2.7$。

无刮研面积，$F_{刮}=0$。

高级精度件　$G=26$(缸)，$F_{精}=0.5\times(1+26)=13.5$。

外购标准件除外，$L=313$，$J=5150$，$F_{件}=0.0015\times313+0.001\times5150=5.58$。

设备净重 $Z=132761$kg，$F_{重}=0.0004\times132761+0.3=53.404$。

结构特性 $A=1.2$，$ZF_{干}=1.2\times(3.9+2.7+13.5+5.58+53.404)\approx95$。

d. 施胶部

动作次数　施胶，转动、控制离合、刮刀，$D=4$，则 $F_{动}=0.2\times4+0.1=0.9$。

变速级数　三角带、锥轮、减速机传动，$S=3$，$F_{速}=0.1\times3+0.5=0.8$。

无刮研面积，$F_{刮}=0$。

高级精度件　$G=1$，$F_{精}=0.5\times(1+1)=1$。

外购标准件除外，$L=105$，$J=198$，$F_{件}=0.0015\times105+0.001\times198=0.356$。

设备净重 $Z=2239$kg，$F_{重}=0.0004\times2239+0.3=1.196$。

结构特性 $A=1.2$，$ZF_{胶}=1.2\times(0.9+0.8+1+0.356+1.196)\approx5$。

e. 传动部

动作系数，变速系数等已计入其他部分之内，只考虑没计入其他部分的零件系数和质量系数。

外购标准件除外，$L=116$，$J=1318$，$F_{件}=0.0015\times116+0.001\times1318=1.492$。

设备净重 $Z=9388$kg，$F_{重}=0.0004\times9388+0.3=4.055$。

结构特性 $A=1.2$，$ZF_{传}=1.2\times(1.492+4.055)\approx6.5$。

f. 全机台的总复杂系数

$$ZF=\sum ZF_i=22.5+21.5+95+5+6.5=150.5$$

③ $ZY_3$1575 五辊压光机

动作次数　引纸、转动，加压、吹风外冷、刮刀、卷纸。

$D=7$，$F_{动}=0.2\times7+0.1=1.5$。

变速级数　主轴三角带、锥轮、减速箱传动，$S=3$，$F_{速}=0.1\times3+0.5=0.8$。

刮研面积为 50dm^2，$F_{刮}=1.5$。

高级精度件，$G=5$(辊)，$F_{精}=0.5\times(1+5)=3$。

外购标准件除外，$L=148$，$J=436$，$F_{件}=0.0015\times148+0.001\times436\approx0.66$。

设备净重 $Z=8800$kg，$F_{重}=0.0004\times8800+0.3=3.82$。

结构特性 $A=1.2$，$ZF=1.2\times(1.5+0.8+1.5+3+0.66+3.82)\approx13.5$。

④ $ZWJ_3$3150 复卷机

动作次数　引纸，上纸芯、转动，落刀，卷纸，落纸，吹纸边。

$D=7$，$F_{动}=0.2\times7+0.1=1.5$。

变速级数　$S=1$，$F_{速}=0.1\times1+0.5=0.6$。

刮研面积为 30dm^2，$F_{刮}=1$。

高级精度件　底辊二根、导辊一根。$G=3$，$F_{精}=0.5\times(1+3)=2$。

外购标准件除外，$L=419$，$J=1544$，$F_{件}=0.0015\times419+0.001\times1544=2.17$。

设备净重 $Z=37000$kg，$F_{重}=0.0004\times37000+0.3=15.1$。

结构特性 $A=1.2$，$ZF=1.2\times(1.5+0.6+1+2+2.17+15.1)\approx26.5$。

⑤ ZWQ_{13}2362 双刀切纸机

动作次数　引纸(压纸)、纵横切纸、输送、理纸，升降。

$D=6$，$F_{动}=0.2\times6+0.1=1.3$。

变速级数　减速机二级、皮带一级传动，$S=3$，$F_{速}=0.1\times3+0.5=0.8$。

刮研面积为 $10dm^2$，$F_{刮}=0.5$。

无高级精度件，$F_{精}=0.5$。

外购标准件除外，$L=275$　$J=733$，$F_{件}=0.0015\times275+0.001\times733\approx1.15$。

设备净重 $Z=11500kg$，$F_{重}=0.0004\times11500+0.3=4.9$。

结构特性 $A=1.2$，$ZF=1.2(1.3+0.8+0.5+0.5+1.15+4.9)\approx11$。

⑥ $ZWD_1$40t 液压打包机

动作次数　纸包进、出，加压。$D=3$，$F_{动}=0.2\times3+0.1=0.7$。

变速级数　$S=0$，$F_{速}=0.5$。

无刮研面积，$F_{刮}=0$。

高级精度件　缸、塞，$G=2$，$F_{精}=0.5\times(1+2)=1.5$。

外购标准件除外，$L=70$，$J=212$，$F_{件}=0.0015\times70+0.001\times212=0.317$。

设备净重 $Z=5000kg$，$F_{重}=0.0004\times5000+0.3=2.3$。

结构特性 $A=1.1$，$ZF=1.1\times(0.7+0.5+1.5+0.317+2.3)\approx6$。

⑦ ZBk_{11} ϕ150 罗茨真空泵

动作次数　引水、转动、吸排气。$D=3$，$F_{动}=0.2\times3+0.1=0.7$。

变速级数　三角带一级传动。$S=1$，$F_{速}=0.1\times1+0.5=0.6$。

无刮研面积，$F_{刮}=0$。

高级精度件，$G=0$，$F_{精}=0.5$。

外购标准件除外，$L=62$　$J=183$，$F_{件}=0.0015\times62+0.001\times183=0.276$。

设备净重 $Z=800kg$，$F_{重}=0.0004\times800+0.3=0.62$。

结构特性 $A=1.1$，$ZF=1.1\times(0.7+0.6+0.5+0.276+0.62)\approx3$。

附　表

附表 1　制浆造纸设备调迁通知单

<table>
<tr><td>设备编号</td><td></td><td rowspan="2">设备名称</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2">规格及型号</td><td rowspan="2"></td><td>单位</td><td></td><td rowspan="2">复杂系数</td><td>机</td></tr>
<tr><td>固定资产编号</td><td></td><td>数量</td><td></td><td>电</td></tr>
<tr><td>调迁原因</td><td colspan="9"></td></tr>
<tr><td colspan="2">原装车间</td><td></td><td>原装地点</td><td></td><td>调入车间</td><td></td><td>装置地点</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="5">原装车间意见：
签　章</td><td colspan="5">调入车间意见：
签　章</td></tr>
<tr><td colspan="3">厂长：
年　月　日</td><td colspan="3">财务部门：
年　月　日</td><td colspan="4">设备动力部门：
年　月　日</td></tr>
<tr><td colspan="10">备注：</td></tr>
</table>

附表 2　租借制浆造纸设备凭证

<table>
<tr><td>设备名称</td><td>设备编号</td><td>固定资产编号</td><td></td><td>规格型号</td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>借方详细地址</td><td></td><td>借方据字号码</td><td></td><td>借方经办人</td><td></td></tr>
<tr><td>经借单位</td><td></td><td>单位机械员</td><td></td><td>经借人</td><td></td></tr>
<tr><td>借用时间</td><td colspan="5">自　　年　　月　　日到　　年　　月　　日　　共　　日</td></tr>
<tr><td rowspan="3">借出单位</td><td colspan="2">设备动力部意见：</td><td rowspan="3">租借单位</td><td colspan="2">设备动力部门意见：</td></tr>
<tr><td colspan="2">财务科租金或折旧意见：</td><td colspan="2">财务科租金或折旧意见：</td></tr>
<tr><td colspan="2">厂长：</td><td colspan="2">厂长：</td></tr>
</table>

附表 3　复 利 系 数

系 数 名 称	符　号	数 学 表 达 式
一次支付复利系数	$[S/P,i,n]$	$(1+i)^n$
一次支付现值系数	$[P/S,i,n]$	$\frac{1}{(1+i)^n}$
等额支付系列偿债基金系数	$[R/S,i,n]$	$\frac{i}{\{(1+i)^n-1\}}$

续表

系 数 名 称	符 号	数 学 表 达 式
等额支付系列资金恢复系数	$[R/P,i,n]$	$\frac{i(1+i)^n}{\{(1+i)^n-1\}}$
等额支付系列复利系数	$[S/R,i,n]$	$\frac{\{(1+i)^n-1\}}{i}$
等额支付系列现值系数	$[P/R,i,n]$	$\frac{\{(1+i)^n-1\}}{i(1+i)^n}$
均匀梯度系列年金系数	$[R/G,i,n]$	$\frac{\{(1+i)^n-ni-1\}}{i\{(1+i)^n-1\}}$
均匀梯度系列现值系数	$[P/G,i,n]$	$\frac{\{(1+i)^n-ni-1\}}{i^2\{(1+i)^n-1\}}$

注：不同 i 值的复利系数见以下附表。

i=5%的复利系数

n	S/P	P/S	R/S	R/P	S/R	P/R	N
1	1.0500	0.9524	1.0000	1.0500	1.000	0.952	1
2	1.1025	0.9070	0.4878	0.5378	2.050	1.859	2
3	1.1576	0.8638	0.3172	0.3627	3.153	2.723	3
4	1.2155	0.8227	0.2320	0.2820	4.310	3.546	4
5	1.2763	0.7835	0.1810	0.2310	5.526	4.329	5
6	1.3401	0.7462	0.1470	0.1970	6.802	5.076	6
7	1.4071	0.7107	0.1228	0.1728	8.142	5.786	7
8	1.4775	0.6738	0.1047	0.1547	9.549	6.463	8
9	1.5513	0.6446	0.0907	0.1407	11.027	7.108	9
10	1.6289	0.6139	0.0795	0.1295	12.578	7.722	10
11	1.7103	0.5847	0.0704	0.1204	14.207	8.306	11
12	1.7959	0.5568	0.0628	0.1128	15.917	8.863	12
13	1.8856	0.5303	0.0565	0.1065	17.713	9.394	13
14	1.9800	0.5051	0.0510	0.1010	19.599	9.899	14
15	2.0789	0.4810	0.0463	0.0963	21.579	10.380	15
16	2.1829	0.4581	0.0423	0.0923	23.657	10.838	16
17	2.2920	0.4363	0.0387	0.0887	25.840	11.274	17
18	2.4066	0.4155	0.0356	0.0856	28.132	11.690	18
19	2.5270	0.3957	0.0328	0.0828	30.539	12.085	19
20	2.6533	0.3769	0.0302	0.0802	33.066	12.462	20
21	2.7860	0.3589	0.0280	0.0780	35.719	12.821	21
22	2.9253	0.3418	0.0260	0.0760	38.505	13.163	22
23	3.0715	0.3256	0.0241	0.0741	41.430	13.489	23
24	3.2251	0.3101	0.0225	0.0725	44.502	13.799	24
25	3.3864	0.2953	0.0210	0.0710	47.727	14.094	25

i=6%的复利系数

n	S/P	P/S	R/S	R/P	S/R	P/R	N
1	1.0600	0.9434	1.0000	1.0600	1.000	0.943	1
2	1.1236	0.8900	0.4854	0.5454	2.060	1.833	2
3	1.1910	0.8396	0.3114	0.3741	3.184	2.673	3
4	1.2625	0.7921	0.2286	0.2886	4.375	3.465	4
5	1.3382	0.7473	0.1774	0.2374	5.637	4.212	5
6	1.4185	0.7050	0.1434	0.2034	6.975	4.917	6
7	1.5036	0.6651	0.1191	0.1791	8.394	5.582	7
8	1.5938	0.6274	0.1010	0.1610	9.897	6.210	8
9	1.6895	0.5919	0.0870	0.1470	11.491	6.802	9
10	1.7908	0.5584	0.0759	0.1359	13.181	7.360	10
11	1.8983	0.5268	0.0668	0.1268	14.972	7.887	11
12	2.0122	0.4970	0.0583	0.1193	16.870	8.384	12
13	2.1329	0.4688	0.0530	0.1130	18.882	8.853	13
14	2.2609	0.4423	0.0476	0.1076	21.015	9.295	14
15	2.3966	0.4173	0.0430	0.1030	23.276	9.712	15
16	2.5404	0.3936	0.0390	0.0990	25.673	10.106	16
17	2.6928	0.3714	0.0354	0.0954	28.213	10.477	17
18	2.8543	0.3503	0.0324	0.0924	30.906	10.828	18
19	3.0256	0.3305	0.0296	0.0896	33.706	11.158	19
20	3.2071	0.3118	0.0272	0.0872	36.786	11.470	20
21	3.3996	0.2942	0.0250	0.0850	39.993	11.764	21
22	3.6035	0.2775	0.0231	0.0831	43.392	12.042	22
23	3.8197	0.2618	0.0213	0.0813	46.996	12303	23
24	4.089	0.2470	0.0197	0.0797	50.816	12.550	24
25	4.2919	0.2330	0.0182	0.0782	54.865	12.783	25

i=7%的复利系数

n	S/P	P/S	R/S	R/P	S/R	P/R	N
1	1.0700	0.9346	1.0000	1.0700	1.000	0.935	1
2	1.1449	0.8734	0.4831	0.5531	2.070	1.808	2
3	1.2250	0.8163	0.3111	0.3811	3.215	2.624	3
4	1.3108	0.7629	0.2252	0.2252	4.440	3.387	4
5	1.4026	0.7130	0.1739	0.2439	5.751	4.100	5
6	1.5007	0.6663	0.13980	0.2098	7.153	4.767	6
7	1.6058	0.6227	0.11566	0.1856	8.654	5.389	7
8	1.7182	0.5820	0.0975	0.1675	10.260	5.971	8
9	1.8385	0.5439	0.0835	0.1535	11.978	6.515	9
10	1.9672	0.5083	0.0724	0.1424	13.816	7.024	10
11	2.1049	0.4751	0.0634	0.1334	15.784	7.499	11
12	2.2522	0.4440	0.0559	0.1259	17.888	7.943	12
13	2.4098	0.4150	0.0497	0.1197	20.141	8.358	13
14	2.5785	0.3878	0.0443	0.1143	22.550	8.745	14
15	2.7590	0.2624	0.0398	0.1098	25.129	9.108	15

续表

n	S/P	P/S	R/S	R/P	S/R	P/R	N
16	2.9522	0.3387	0.0359	0.1059	27.888	9.447	16
17	3.1588	0.3166	0.0324	0.1024	30.840	9.763	17
18	3.3799	0.2959	0.0294	0.0994	33.999	10.059	18
19	3.6165	0.2765	0.0268	0.0998	37.379	10.336	19
20	3.8697	0.2584	0.0244	0.0944	40.995	10.594	20
21	4.1406	0.2415	0.0223	0.0923	44.865	10.836	21
22	4.4304	0.2257	0.0204	0.0904	49.006	11.061	22
23	4.7405	0.2109	0.0187	0.0887	53.436	11.272	23
24	5.0724	0.1971	0.0172	0.0172	58.177	11.469	24
25	5.4274	0.1842	0.0158	0.0858	63.249	11.654	25

i=8%的复利系数

n	S/P	P/S	R/S	R/P	S/R	P/R	N
1	1.0800	0.9259	1.000	1.0800	1.000	0.926	1
2	1.1664	0.8573	0.4808	0.5608	2.080	1.783	2
3	1.2597	0.7938	0.3080	0.3880	3.246	2.577	3
4	1.3605	0.7350	0.2219	0.3019	4.506	3.312	4
5	1.4693	0.6860	0.1705	0.2505	5.867	3.993	5
6	1.5869	0.6302	0.1363	0.2163	7.336	4.623	6
7	1.7138	0.5835	0.1121	0.1921	8.923	5.206	7
8	1.8509	0.5403	0.0940	0.1740	10.637	5.747	8
9	1.9990	0.5002	0.0801	0.1601	12.488	6.247	9
10	2.1589	0.4632	0.0690	0.1490	14.487	6.710	10
11	2.3316	0.4289	0.0601	0.1401	16.645	7.139	11
12	2.5182	0.3971	0.0527	0.1327	18.977	7.536	12
13	2.7196	0.3677	0.0465	0.1265	21.495	7.904	13
14	2.9372	0.3405	0.0413	0.1213	24.215	8.244	14
15	3.1722	0.3152	0.0368	0.1168	27.152	8.559	15
16	3.4259	0.2919	0.0330	0.1130	30.324	8.851	16
17	3.7000	0.2703	0.0296	0.1096	33.750	9.122	17
18	3.9960	0.2502	0.0267	0.1067	37.450	9.372	18
19	4.3157	0.2317	0.0241	0.1041	41.446	9.604	19
20	4.6610	0.2145	0.0219	0.1019	45.762	9.818	20
21	5.0338	0.1987	0.0198	0.0998	50.423	10.017	21
22	5.4365	0.1839	0.0180	0.0980	55.457	10.201	22
23	5.8715	0.1703	0.0164	0.0964	60.892	10.371	23
24	6.3412	0.1577	0.0150	0.0950	66.765	10.529	24
25	6.8495	0.1460	0.0137	0.0937	73.106	10.675	25

i=9%的复利系数

n	S/P	P/S	R/S	R/P	S/R	P/R	N
1	1.0900	0.9174	1.000	1.0900	1.000	0.917	1
2	1.1881	0.8417	0.4785	0.5685	2.090	1759	2
3	1.2950	0.7722	0.3015	0.3951	3.278	2.531	3
4	1.4116	0.7084	0.2187	0.3087	4.573	3.240	4
5	1.5386	0.6499	0.1671	0.2571	5.985	3.890	5
6	1.6671	0.5963	0.1329	0.2229	7.523	4.486	6
7	1.8280	0.5470	0.1087	0.1987	9.200	5.033	7
8	1.9926	0.5019	0.0907	0.1807	11.028	5.535	8
9	2.1719	0.4604	0.0768	0.1668	13.021	5.995	9
10	2.3674	0.4224	0.0658	0.1558	15.193	6.418	10
11	2.5804	0.3875	0.0570	0.1470	17.60	6.805	11
12	2.8127	0.3555	0.0497	0.397	20.141	7.161	12
13	3.0658	0.3262	0.0436	0.1336	22.953	7.487	13
14	3.3417	0.2992	0.0384	0.1284	26.019	7.786	14
15	3.6425	0.2745	0.0341	0.1241	29.361	8.061	15
16	3.9703	0.2519	0.0303	0.1203	33.003	8.313	16
17	4.3276	0.2311	0.0271	0.1171	36.974	8.544	17
18	4.7171	0.2120	0.0242	0.1142	41.301	8.756	18
19	5.1417	0.1945	0.0217	0.1117	46.018	8.950	19
20	5.6944	0.1784	0.0196	0.1096	51.160	9.129	20
21	6.1088	0.1637	0.0176	0.1076	56.765	9.292	21
22	5.6586	0.1502	0.0159	0.1059	62.872	9.442	22
23	7.2579	0.1378	0.0144	0.1044	69.532	9.580	23
24	7.9111	0.1264	0.0130	0.1030	76.790	9.707	24
25	8.6231	0.1160	0.0118	0.1080	84.701	9.822	25

i=10%的复利系数

n	S/P	P/S	R/S	R/P	S/R	P/R	N
1	1.1000	0.9091	1.0000	1.1000	1.000	0.909	1
2	1.2100	0.8264	0.4762	0.5762	2.100	1.736	2
3	1.3310	0.7513	0.3021	0.4021	3.310	2.487	3
4	1.4641	0.6830	0.2155	0.3155	4.641	3.170	4
5	1.6105	0.6209	0.1638	0.2638	6.105	3.791	5
6	1.7716	0.5645	0.1296	0.2296	7.716	4.355	6
7	1.9487	0.5132	0.1054	0.2054	9.487	4.868	7
8	2.1436	0.4665	0.0874	0.1874	11.436	5.335	8
9	2.3579	0.4241	0.0736	0.1736	13.579	5.759	9
10	2.5937	0.3855	0.0628	0.1628	15.937	6.144	10
11	2.8531	0.3505	0.0540	0.1540	18.531	6.495	11
12	3.1384	0.3186	0.0468	0.1468	21.384	6.814	12
13	3.4523	0.2897	0.0408	0.1408	24.523	7.103	13
14	3.7975	0.2633	0.0358	0.1358	27.975	7.367	14
15	5.1772	0.2394	0.0315	0.1315	31.772	7.606	15

续表

n	S/P	P/S	R/S	R/P	S/R	P/R	N
16	4.5950	0.2176	0.0278	0.1278	35.950	7.824	16
17	5.0545	0.1978	0.0247	0.1247	40.545	8.022	17
18	5.5599	0.1799	0.0219	0.1219	45.599	8.201	18
19	6.1159	0.1635	0.0196	0.1196	51.159	8.365	19
20	6.7275	0.1486	0.0175	0.1175	57.275	8.514	20
21	7.4002	0.1351	0.0156	0.1156	64.002	8.649	21
22	8.1403	0.1228	0.0140	0.1140	71.403	8.772	22
23	8.9543	0.1117	0.0126	0.1126	79.543	8.883	23
24	9.8497	0.1015	0.0113	0.1113	88.497	8.985	24
25	10.8347	0.0923	0.0102	0.1102	98.347	9.007	25

i=11%的复利系数

n	S/P	P/S	R/S	R/P	S/R	P/R	N
1	1.1100	0.9009	1.0000	1.1100	1.000	0.901	1
2	1.2321	0.8116	0.739	0.5839	2.110	1.713	2
3	1.3676	0.7312	0.2992	0.4092	3.324	2.444	3
4	1.5181	0.6587	0.2123	0.3223	4.710	3.102	4
5	1.6851	0.5935	0.1606	0.2706	6.228	3.696	5
6	1.8704	0.5346	0.1264	0.2364	7.913	4.231	6
7	2.0762	0.4817	0.1022	0.2122	9.783	4.712	7
8	2.3045	0.4339	0.0843	0.1943	11.895	5.146	8
9	2.5581	0.3909	0.0706	0.1806	14.164	5.527	9
10	2.8394	0.3522	0.0598	0.1698	16.722	5.889	10
11	3.1518	0.3173	0.0511	0.1611	19.561	6.207	11
12	3.4984	0.2858	0.0440	0.1540	22.713	6.492	12
13	3.8833	0.2575	0.0382	0.1482	26.212	6.750	13
14	4.3104	0.2320	0.0332	0.1432	30.095	6.982	14
15	4.7846	0.2090	0.0291	0.1391	34.405	7.191	15
16	5.3109	0.1883	0.0255	0.1355	39.190	7.379	16
17	5.8951	0.1696	0.0255	0.1225	44.501	7.549	17
18	6.5436	0.1528	0.0198	0.1298	50.296	7.702	18
19	7.2633	0.1377	0.0176	0.1276	56.939	7.839	19
20	8.0623	0.1240	0.0156	0.1256	64.203	7.963	20
21	8.9492	0.1117	0.0138	0.1238	72.265	8.075	21
22	9.9336	0.1007	0.0123	0.1223	81.214	8.176	22
23	11.0263	0.0907	0.0110	0.1210	91.148	8.266	23
24	12.2392	0.0817	0.0098	0.1198	102.174	8.348	24
25	13.5855	0.0736	0.0087	0.1187	114.413	8.422	25

i=12%的复利系数

n	S/P	P/S	R/S	R/P	S/R	P/R	N
1	1.1200	0.8929	1.0000	1.1200	1.000	0.893	1
2	1.2544	0.7972	0.4717	0.5917	2.120	1.690	2
3	1.4049	0.7118	0.2964	0.4164	3.374	2.402	3
4	1.5735	0.6355	0.2092	0.3292	4.779	3.037	4
5	1.7623	0.5674	0.1574	0.2774	6.363	3.605	5
6	1.9738	0.5066	0.1232	0.2432	8.115	4.111	6
7	2.2107	0.4523	0.0991	0.2191	10.089	4.564	7
8	2.4760	0.4039	0.0813	0.2013	12.300	4.968	8
9	2.7731	0.3606	0.0677	0.1877	14.776	5.328	9
10	3.1058	0.3220	0.0570	0.1770	17.549	5.650	10
11	3.4785	0.2875	0.0484	0.1684	20.655	5.938	11
12	3.8960	0.2567	0.0414	0.1614	24.133	6.194	12
13	4.3635	0.2292	0.0357	0.1557	28.029	6.424	13
14	4.8871	0.2046	0.0309	0.1509	32.393	6.628	14
15	5.4736	0.1827	0.0268	0.1468	37.280	6.811	15
16	6.1304	0.1631	0.0234	0.1434	42.753	6.974	16
17	6.8660	0.1456	0.0205	0.1405	48.884	7.120	17
18	7.6900	0.1300	0.0179	0.1379	55.750	7.250	18
19	8.6128	0.1161	0.0158	0.1358	63.440	7.366	19
20	9.6463	0.1037	0.0139	0.1239	72.052	7.469	20
21	10.8038	0.0926	0.0122	0.1322	81.699	7.562	21
22	12.1003	0.0826	0.1018	0.1308	92.503	7.645	22
23	13.5523	0.0738	0.0096	0.1216	104.603	7.718	23
24	15.1786	0.0659	0.0085	0.1285	118.155	7.784	24
25	17.0001	0.0588	0.0075	0.1275	133.324	7.843	25

i=13%的复利系数

n	S/P	P/S	R/S	R/P	S/R	P/R	N
1	1.1300	0.8850	1.0000	1.1300	1.000	0.885	1
2	1.2769	0.7831	0.4695	0.5995	2.130	1.668	2
3	1.4429	0.6931	0.2935	0.4235	3.407	2.361	3
4	1.6035	0.6133	0.2061	0.3362	4.850	3.974	4
5	1.8424	0.5428	0.1543	0.2843	6.480	3.517	5
6	2.0820	0.4803	0.1202	0.2502	8.323	3.998	6
7	2.3526	0.4251	0.0961	0.2261	10.405	4.423	7
8	2.6584	0.3762	0.0784	0.2084	12.757	4.799	8
9	3.0040	0.3329	0.0649	0.1949	15.416	5.132	9
10	3.3946	0.2946	0.0543	0.1843	18.420	5.426	10
11	3.8359	0.2607	0.9458	0.1753	21.814	5.687	11
12	4.3345	0.2307	0.0390	0.1690	25.650	5.918	12
13	4.8980	0.2042	0.0334	0.1634	29.985	6.122	13
14	5.5348	0.1807	0.0287	0.1587	34.883	6.302	14
15	6.2543	0.1599	0.0247	0.1547	40.417	6.462	15

续表

n	S/P	P/S	R/S	R/P	S/R	P/R	N
16	7.0673	0.1415	0.0214	0.1514	46.672	6.604	16
17	7.9861	0.1252	0.0186	0.1486	53.739	6.729	17
18	9.0242	0.1108	0.0162	0.1462	61.725	6.840	18
19	10.1974	0.0981	0.0141	0.1441	70.749	6.938	19
20	11.5231	0.0368	0.0124	0.1424	80.947	7.025	20
21	13.0211	0.0768	0.0108	0.1408	92.470	7.102	21
22	14.7138	0.0680	0.0095	0.1395	105.491	7.170	22
23	16.6266	0.0601	0.0083	0.1383	120.205	7.230	23
24	18.7881	0.0532	0.0073	0.1313	136.831	7.283	24
25	21.2305	0.0471	0.0064	0.1364	155.620	7.330	25

i=14%的复利系数

n	S/P	P/S	R/S	R/P	S/R	P/R	N
1	1.1400	0.8772	1.0000	1.1400	1.000	0.877	1
2	1.2996	0.7695	0.4673	0.6073	2.140	1.647	2
3	1.4815	0.6750	0.2907	0.4307	3.440	2.322	3
4	1.6890	0.5921	0.2032	0.3432	4.921	2.914	4
5	1.9254	0.5194	0.1513	0.2913	6.610	3.433	5
6	2.1950	0.4556	0.1172	0.2572	8.536	3.889	6
7	2.5023	0.3996	0.0932	0.2332	10.732	4.288	7
8	2.8526	0.3506	0.0756	0.2156	13.233	4.639	8
9	3.2519	0.3075	0.0622	0.2022	16.085	4.949	9
10	3.7072	0.2697	0.0517	0.1917	19.337	5.216	10
11	4.2262	0.2366	0.0434	0.1834	23.045	5.453	11
12	4.8179	0.2076	0.0367	0.1767	27.271	5.660	12
13	5.4924	0.1821	0.0312	0.1712	32.089	5.842	13
14	6.2613	0.1597	0.0266	0.1666	37.581	6.002	14
15	7.1379	0.1401	0.0228	0.1628	43.842	6.142	15
16	8.1372	0.1229	0.0196	0.1596	50.980	6.265	16
17	9.2765	0.1078	0.0169	0.1569	59.118	6.373	17
18	10.5752	0.0946	0.0146	0.1546	68.394	6.467	18
19	12.0557	0.0829	0.0127	0.1527	78.969	6.550	19
20	13.7435	0.0728	0.0110	0.1510	91.025	6.623	20
21	15.6676	0.0638	0.0095	0.1495	104.768	6.687	21
22	17.8610	0.0560	0.0083	0.1483	120.436	6.743	22
23	20.3616	0.0491	0.0072	0.1472	138.297	6.792	23
24	23.2122	0.0431	0.0063	0.1463	158.659	6.835	24
25	26.4619	0.0378	0.0055	0.1455	181.871	6.873	25

$i=15\%$的复利系数

n	S/P	P/S	R/S	R/P	S/R	P/R	N
1	1.1500	0.8696	1.0000	1.1500	1.000	0.870	1
2	1.3225	0.7561	0.4651	0.6151	2.150	1.626	2
3	1.5209	0.6575	0.2880	0.4380	3.472	2.283	3
4	1.7490	0.5718	0.2003	0.3503	4.993	2.855	4
5	2.0114	0.4972	0.1483	0.2983	6.742	3.352	5
6	2.3131	0.4323	0.1142	0.2642	8.754	3.784	6
7	2.6600	0.3759	0.0904	0.2404	11.067	4.160	7
8	3.0590	0.3269	0.0729	0.2229	13.727	4.487	8
9	3.5179	0.2843	0.0596	0.2096	16.786	4.772	9
10	4.0456	0.2472	0.0493	0.1993	20.304	5.019	10
11	4.6524	0.2149	0.0411	0.1011	24.349	5.234	11
12	5.3503	0.1869	0.0345	0.1845	29.002	5.421	12
13	6.1528	0.1625	0.0291	0.1791	34.352	5.583	13
14	7.0757	0.1413	0.0247	0.1747	40.505	5.724	14
15	8.1371	0.1229	0.0210	0.1710	47.580	5.847	15
16	9.3576	0.1069	0.0180	0.1680	55.717	5.954	16
17	10.7613	0.0929	0.0154	0.1654	65.075	6.047	17
18	12.3755	0.0808	0.0132	0.1614	75.836	6.128	18
19	14.2318	0.0703	0.0113	0.1613	88.212	6.198	19
20	16.3665	0.0611	0.0098	0.1598	102.444	6.259	20
21	18.8215	0.0531	0.0084	0.1584	118.810	6.312	21
22	21.6447	0.0462	0.0073	0.1573	137.632	6.359	22
23	24.8915	0.0402	0.0063	0.1563	159.276	6.399	23
24	28.6252	0.0349	0.0054	0.1554	184.168	6.434	24
25	32.9190	0.0304	0.0047	0.1547	212.792	6.464	25

附表 4　标准正态分布值

$$\Phi(x)=\int_{-\infty}^{x}\frac{1}{\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{x^2}{2}}dx$$

x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$
0.00	0.5000	0.80	0.7881	1.60	0.9452	2.35	0.9906
0.05	0.5199	0.85	0.8023	1.65	0.9505	2.40	0.9918
0.10	0.5389	0.90	0.8159	1.70	0.9554	2.45	0.9920
0.15	0.5596	0.95	0.8289	1.75	0.9599	2.50	0.9938
0.20	0.5793	1.00	0.8413	1.80	0.9641	2.55	0.9946
0.25	0.5987	1.05	0.8531	1.85	0.9678	2.58	0.9951
0.30	0.6179	1.10	0.8643	1.90	0.9713	2.60	0.9953
0.35	0.6368	1.15	0.8749	1.95	0.9744	2.65	0.9960
0.40	0.6554	1.20	0.8849	1.96	0.9750	2.70	0.9965
0.45	0.6736	1.25	0.8944	2.00	0.9772	2.75	0.9970
0.50	0.6915	1.30	0.9032	2.05	0.9789	2.80	0.9974
0.55	0.7088	1.35	0.9115	2.10	0.9821	2.85	0.9978
0.60	0.7257	1.40	0.9192	2.15	0.9842	2.90	0.9981
0.65	0.7422	1.45	0.9265	2.20	0.9816	2.95	0.9984
0.70	0.7580	1.50	0.9332	2.25	0.9878	3.00	0.9987
0.75	0.7734	1.55	0.9394	2.30	0.9893	4.00	1.0000

附录　设备振动诊断标准

1. 振动标准的类别和制定振动标准的目的

振动标准从使用者的角度可分为两大类，即运行管理标准和制造厂出厂标准。两者的内容和规格不同，通常后者比前者严格；两者的目的也不一样，前者用于评定设备的健康状况（即对设备进行分级）、对设备的故障进行诊断、确定设备的维修计划等，而后者是用来控制设备的质量、性能以及可靠性等。因此，两类振动标准不可混淆。本手册仅介绍前一类振动标准及其在故障诊断中的应用。

从故障诊断的角度还可以将振动标准划分为绝对标准、相对标准两种。绝对标准是指用以判断设备状态的振动绝对数值；相对标准是指设备自身振值变化率的允许值。绝对标准是在规定了正确的测定方法之后制定的标准，所以在应用时必须注意标准适用的频率范围和测定方法。在使用振动标准时应注意，虽然标准一般将机器状态分成若干级，但机器状态的变化却是连续的；也就是说，一台振幅稍低于某一分级线的机器其状态并不一定比振幅稍高于此线的机器好得多。

2. 标准机构与组织

在振动标准的制定方面有两个公认的权威性国际机构，一个是“国际标准化组织”（ISO），另一个是“国际电工委员会”（IEC）。

在 ISO 中，振动标准的制定工作由“机械振动和冲击技术委员会 TC108”负责。TC108 成立于 1963 年，秘书国为美国，现下设 4 个分技术委员会（SC1～SC4）、32 个工作组（WG）以及若干个直属工作组。截至 1990 年 12 月 31 日，TC108 共发布了 43 个标准。

在 IEC 中，振动标准的制定工作由“技术委员会 TC50”负责。

各主要工业国家的国家标准化组织、商业组织、技术学会等也制定了很多专用和通用振动标准，如“美国全国标准化协会”（ANSI）、“美国石油学会”（API）、“德国标准委员会”（DIN）、“德国工程师协会”（VDI）、“英国标准化协会”（BSI）、“前苏联标准化委员会”（TOCT）等。

我国于 1985 年 7 月成立了“全国机械振动与冲击标准化技术委员会”（CSBTS/TC53）对口 ISO/TC108 的工作，负责我国振动标准的制定工作，秘书处挂靠在机电部郑州机械研究所，下设两个分技术委员会，现行和待发布的振动标准约有 40 项。

3. 振动相对标准

相对标准是振动标准在设备故障诊断中应用的典型，特别适用于尚无适用的振动绝对标准的设备。其应用方法是对设备的同一部位的振动进行定期检测，以设备正常情况下的值为原始值，根据实测值与原始值的比值是否超过标准来判断设备的状态。

标准值的确定根据频率的不同分为低频（＜1000Hz）和高频（＞1000Hz）两段。低频段的依据主要是经验值和人的感觉，而高频段主要是考虑了零件结构的疲劳强度。典型的振动相对标准有日本工业界广泛采用的相对标准见表 1。

4. 旋转机械振动绝对标准

（1）通用标准　表 2 给出了 ISO 3945—1985《转速范围为 10～200r/s 的大型旋转机械

表 1　日本工业界推荐相对标准

项　　目	低频(<1000Hz)	高频(>1000Hz)
注意区	1.5～2 倍	3 倍
异常区	4 倍	6 倍

的机械振动-振动烈度的现场测量与评价》。本标准适用于功率大于 300kW，转速为 10～100r/s 的大型原动机和其他有旋转质量的大型机器的振动烈度评定。振动烈度定义为频率 10～1000Hz 范围内振动速度的均方根值。该标准规定在轴承外壳上三个正交方向上测量振动烈度，并根据机器的支承特性将机器进行分类。所谓刚性支承是指固有频率高于机器的主激励频率的底座；而挠性支承是指其固有频率低于机器的主激励频率的底座。表 2 中相邻两级的比值约为 1∶1.6，即相差约 4dB。

表 2　ISO 3945—1985

振动烈度		支承类别	
V_{rms}/mm·s^{-1}	V_{rms}/in·s^{-1}	刚性支承	挠性支承
0.46	0.018	良好	良好
0.71	0.028		
1.12	0.044		
1.8	0.071		
2.8	0.11	满意	
4.6	0.18		满意
7.1	0.28	不满意	
11.2	0.44		不满意
18.0	0.71	不合格	
28.0	1.10		不合格
71.0	2.80		

表 3、表 5 为 ISO 2372—1974《转速为 10～200r/s 机器的机械振动——规定评价标准的基础》。该标准将机器分为Ⅰ类小型机器（如功率 15kW 以下的电机）、Ⅱ类中型机器（如 15～75kW 电机和 300kW 以下机器）、Ⅲ类大型机器（如 300kW 以上的硬底座机器）和Ⅳ类大型机器（如 300kW 以上的软底座机器）。标准给出了相应的振动烈度级和振动限值。

表 3　振动烈度的范围（10～100Hz）（ISO 2372—1974）

分类范围	速度范围(有效值)(振动速度的有效值)				分类范围	速度范围(有效值)(振动速度的有效值)			
	/mm·s^{-1}		/in·s^{-1}			/mm·s^{-1}		/in·s^{-1}	
	超过	到	超过	到		超过	到	超过	到
0.11	0.071	0.112	0.0023	0.0014	4.5	2.8	4.5	0.1102	0.1772
0.12	0.112	0.18	0.0044	0.0071	7.1	4.5	7.1	0.1772	0.2795
0.28	0.18	0.28	0.0071	0.0110	11.2	7.1	11.2	0.2795	0.4409
0.15	0.28	0.45	0.0110	0.0177	18	11.2	18	0.4409	0.7087
0.71	0.45	0.71	0.0177	0.0280	28	18	28	0.7087	1.1024
1.12	0.71	1.72	0.0280	0.0111	45	28	45	1.1024	1.7716
1.8	1.12	1.8	0.0411	0.0709	71	45	71	1.7716	2.7953
2.8	1.8	2.8	0.0700	0.1102					

中国国家标准 GB 6075—85《制定机器振动标准的基础》等效采用了 ISO 2372—1974。德国标准 VDI 2056 和英国标准 BS 4675 也等效采用了 ISO 2372—1974。

表 4 给出了加拿大政府文件 CDA/MS/NVSH 107（维护振动极限）。这也是一个振动烈度标准。

一般振动烈度范围和它们应用于小型机器（第Ⅰ类）、中型机器（第Ⅱ类）、大型机器（第Ⅲ类）和透平机器（第Ⅳ类）的实例。

表 4 轴承振动测量值的判据（10～1×10⁴ Hz）

用于下列机器的总振动速度均方根值的允许值	新机器				旧机器（全速、全功率）			
	长寿命 vdB/mm·s⁻¹		短寿命 vdB/mm·s⁻¹		检查界限值 vdB/mm·s⁻¹		修理界限值 vdB/mm·s⁻¹	
燃气轮机（>20000hp①）	138	7.9	145	18	145	18	150	32
（6～20000hp）	128	2.5	135	5.6	140	10	145	18
（<5000hp）	118	0.79	130	3.2	135	5.6	140	10
汽轮机（>20000hp）	125	1.8	145	18	145	18	150	32
（6～20000hp）	120	1.0	135	5.6	145	18	150	32
（<5000hp）	115	0.56	130	3.2	140	10	145	18
压气机（自由活塞）	140	10	150	32	150	32	155	56
（高压空气、空调）	133	4.5	140	10	140	10	145	18
（低压空气）	123	1.4	135	5.6	140	10	145	18
（电冰箱）	115	0.56	135	5.6	140	10	145	18
柴油发电机组	123	1.4	110	10	115	18	150	32
离心机油分离器	123	1.4	110	10	115	18	150	32
齿轮箱（>10000hp）	120	1.0	140	10	145	18	150	32
（10～10000hp）	115	0.56	135	5.6	145	18	150	32
（≤10hp）	110	0.32	130	3.2	110	10	145	18
锅炉（辅助）	120	1.0	130	3.2	135	5.6	110	10
发电机组	120	1.0	130	3.2	135	5.6	110	10
泵（>5hp）	123	1.4	135	5.6	140	10	115	18
（≤5hp）	118	0.79	130	3.2	135	5.6	110	10
风扇（<1800r/min）	120	4.0	130	3.2	135	5.6	110	10
（>1800r/min）	115	0.56	130	3.2	135	5.6	110	10
电机（>5hp 或>1200r/min）	108	0.25	125	1.8	130	3.2	135	5.6
（≤5hp 或<1200r/min）	103	0.11	125	1.8	130	3.2	135	5.6
变流机（>1kV·A）	103	0.11	—	—	115	0.56	120	10
（≤1kV·A）	100	0.10	—	—	110	0.32	115	0.56

① 1hp=745.700W，后同。

ISO 7919/1—1986“非往复式机器的机械振动——旋转轴的测量和评价——第一部分：一般指南作为旋转机械轴振动的系列标准之一，从总体上规定了转轴振动的测量参数、测量方法和建立转轴振动评定准则所应考虑的因素，具有普遍的指导意义。

中国国家标准 GB 113481—89“旋转机械转轴径向振动的测量和评定第一部分总则”等效采用 ISO 7919/1—1986。

国际标准草案 ISO/DIS 7919/3—1990“非往复式机器机械振动——旋转轴的测量和评价——第三部分：耦合工业机器应用指南”给出了适用于蒸汽涡轮机、透平压缩机、泵、发电机、引风机等耦合工业机器的转轴相对振动值，各区域允许值（峰-峰值）的计算公式如下。

A $S_{p-y}=4800\sqrt{n}$ (μm)；B $S_{p-y}=9000\sqrt{n}$ (μm)；C $S_{p-y}=13200\sqrt{n}$ (μm)

其中，n 为转速，r/min。

(2) 压缩机　离心式压缩机通常运行在滑动轴承上，并有一个相对大的壳体对转子比率和刚性支承。这样，表示轴承稳定性、转子平衡和联轴节同轴度情况的、由转子产生的绝大部分低频能量，都会如所希望的那样耗散在轴与轴承之间的相对运动上。在这种情况下，用非接触式传感器监测转轴振动通常可以较好地辨别机器状态的变化。

表 5　振动标准（ISO 2372—1974 ）

振动烈度的范围				判定每种机器质量的实例			
范围	在该范围极限上的速度有效值/mm·s^{-1}			第Ⅰ类	第Ⅱ类	第Ⅲ类	第Ⅳ类
0.28		0.28		A	A	A	A
0.45		0.45					
0.71		0.71					
1.12		1.12		B			
1.8		1.8			B		
2.8		2.8		C		B	
4.5		4.5			C		B
7.1		7.1		D		C	
11.2		11.2			D		C
18		18				D	
28		28					D
45		45					
71							

根据美国石油学会标准 API 617《一般炼油厂用离心式压缩机》（1988 年第 5 版）的规定，装配好的离心式压缩机的转轴相对振动值在紧靠轴承的任意平面内应不超过下式的数值或 50.8μm，并以两者中的较小值为准。

$$A=25.4\times\sqrt{\frac{12000}{n}}$$

式中　A——未滤波的峰-峰值振幅，μm；

n——最大连续转速，r/min。

在大于最大连续转速，直到等于驱动机跳闸转速时，其振动值不应大于在最大连续转速下记录的最大振动值的 150%。在这个标准中，S 值包含了径向跳动，它比 API 617 1979 年第 4 版更严格。在后一标准中，径向跳动是在 A 值的基础上另外考虑的。

(3) 电机　电机的振动标准较多，如美国全国电器制造商协会（NEMA）标准 MG 1-

12.06，MG 1-20.53，德国标准 DIN 45665，原苏联标准 TOCT 16921—83，TOCT 20815—88，TOCT 20832—75 等。

表 6 给出了中国国家标准 GB 10068.1-2—88《旋转电机振动测定方法及限值》中规定的电机振动限值标准参照采用国际标准 IEC 34-14（1986）《中心高为 56mm 及以上旋转电机的振动——振动烈度的测量、评定及限值》。

表 6 电机振动速度有效值限值（GB 10068.1-2—88）/mm·s^{-1}

安装方式	弹性悬置			刚性安装
轴中心高 H/mm	45～132	>132～225	>225～400	>400
标准转速/r·min^{-1}				
600～1800	1.8	1.8	2.8	2.8
>1800～3600	1.8	2.8	4.5	2.8

本标准适用于轴中心高为 45～630mm，转速为 600～3600r/min 以及轴中心高 630mm 以上，转速为 150～3600r/min 的单台卧式安装电机，要求选择 6 个测点，以最大值作为电机的振动烈度值。

（4）泵 我国国家标准 GB 10889—89“泵的振动测量与评价方法”等效采用 ISO 2372—1974 来评定泵的振动烈度等级，见表 7～表 9。

该标准适用于除潜液泵、往复泵以外的各种形式的泵和泵用调速液力耦合器，转速范围 600～12000r/min。标准规定将主要测点上在三种不同的流量工况下测得的振动速度有效值中的最大的一个定为泵的振动烈度。

表 7 泵的振动烈度分级（GB 10889—87）

烈度级	振动烈度的范围/mm·s^{-1}		烈度级	振动烈度的范围/mm·s^{-1}	
	大于	到		大于	到
0.11	0.67	0.11	4.50	2.80	4.50
0.18	0.41	0.18	7.10	4.50	7.10
0.28	0.18	0.28	11.20	7.10	11.20
0.45	0.28	0.45	18.00	11.20	18.00
0.71	0.45	0.71	28.00	18.00	28.00
1.12	0.71	1.12	45.00	28.00	45.00
1.80	1.12	1.80	71.00	45.00	71.00
2.80	1.80	2.80			

表 8 根据泵轴中心高和转速的分类（GB 10889—89）

中心高/mm	≤225	>225～550	>550
转速	r/min		
第Ⅰ类	≤1800	≤1000	
第Ⅱ类	>1800～4500	>1000～1800	>600～1500
第Ⅲ类	>4500～12000	>1800～4500	>1500～3600
第Ⅳ类		>4500～12000	>3600～12000

表 9　泵的振动标准（GB 10889—89）

振动烈度的范围				判定泵的振动级别			
振动烈度级	振动烈度分级界限/mm·s^{-1}			第Ⅰ类	第Ⅱ类	第Ⅲ类	第Ⅳ类
0.28		0.28		A	A	A	A
0.45		0.45					
0.71		0.71					
1.12		1.12		B	B		
1.80		1.80					
2.80		2.80		C	C	B	B
4.50		4.50					
7.10		7.10		D	D	C	C
11.20		11.20					
18.00		18.00				D	D
28.00		28.00					
45.00		45.00					
71.00		71.00					

主要参考文献

1 王少萍．工程可靠性．北京：航空航天大学出版社，2000

2 杜瑞称，阎秀霞．系统工程．北京：机械工业出版社，2002

3 刘林详，戚盛达．工业设备管理．北京：清华大学出版社，1989

4 L. H. Chiang, E. L. Russell, R. D. Braatz. Fault Detection and Diagnosis in Industrial Systems. London: Springer, 2001

5 盐见弘著．可靠性与维修性．姚普译．北京：机械工业出版社，1987

6 徐敏等．设备故障诊断手册．西安：西安交大出版社，1998

7 廖伯瑜．机械故障诊断基础．北京：冶金工业出版社，2002

8 Johan Gullichsen, Hannu Paulapuro. Papermaking Science and Technology (book 19) . Jyvaskyla: Gummerus Printing, 1999

9 振动与冲击手册编辑委员会编．振动与冲击手册．北京：国防工业出版社，1988

10 轻工业部．造纸行业设备管理和维修工作细则．1987

11 屈维德．机械振动手册．北京：机械工业出版社，1992

[General Information]
书名=制浆造纸设备管理与维护
作者=张宏　杨军编著
页数=196
SS号=11486477
DX号=
出版日期=2003年12月第1版
出版社=化学工业出版社

封面
书名
版权
前言
目录
第1章　总论
1.1　设备与设备综合管理
1.1.1　概述
1.1.2　设备综合管理
1.2　国外设备管理科学的进展情况
1.2.1　设备管理的发展
1.2.2　现代设备管理思想的产生
1.2.3　国外设备管理科学的进展
1.3　我国设备管理的主要目标和任务
第2章　设备综合管理的方法
2.1　系统工程
2.2　设备的寿命周期费用评价法
2.2.1　寿命周期费用评价法的基础
2.2.2　评价设备寿命周期费用的方法
2.2.3　寿命周期费用评价法实例（作业用工具车的选定）
2.3　可靠性维修性工程
2.3.1　可靠性工作的基本内容及一般程序
2.3.2　可靠性工程的基本理论
2.3.3　维修性原理
2.3.4　可靠性维修性设计
2.3.5　设备的可靠性试验
2.3.6　故障效应分析与失效树分析
第3章　设备的故障监测和诊断理论
3.1　故障诊断的基本理论
3.2　信号分析基础
3.2.1　信号的测量、传输及分类
3.2.2　信号的时域分析
3.2.3　信号的频域分析
3.2.4　模拟信号分析
3.2.5　数字信号分析
3.2.6　频率细化分析技术
3.3　故障诊断实例
3.3.1　1760纸机轴承故障监测与诊断研究
3.3.2　纸张的缺陷检测技术和方法研究
第4章　制浆造纸设备的前期管理
4.1　制浆造纸设备管理组织机构的设置
4.1.1　管理人员的配备和素质要求

4.1.2 设备维修的组织形式
4.2 制浆造纸设备的规划与选型
4.3 设备的分类、编号和建档
4.4 制浆造纸设备的安装、验收及使用初期管理
4.4.1 安装和验收管理
4.4.2 制浆造纸设备的初期管理
4.5 制浆造纸企业的前期管理工作实例
第5章 制浆造纸设备的中期管理
5.1 制浆造纸设备的使用守则和规程
5.1.1 制浆造纸设备使用守则
5.1.2 设备操作规程
5.2 设备的维护保养
5.3 设备的日常和定期检查
5.4 制浆造纸设备的润滑管理
5.4.1 设备润滑管理的目的和任务
5.4.2 润滑管理的体制与职责
5.4.3 制浆造纸设备的润滑材料及其选用
5.4.4 设备的润滑方式与润滑装置
5.4.5 润滑材料的消耗与回收再生处理
5.4.6 设备的润滑故障及预防措施
5.5 制浆造纸厂设备操作规程实例
5.5.1 1号生产线打浆工段操作规程
5.5.2 1号生产线造纸工段操作规程
5.5.3 2号生产线浆料准备岗位
第6章 制浆造纸设备的后期管理
6.1 制浆造纸设备的检修
6.2 制浆造纸设备故障管理
6.3 设备的事故管理
6.4 制浆造纸设备的检修方式和体制
6.4.1 检修的基本方式及其选择
6.4.2 制浆造纸设备的维修管理制度
6.4.3 制浆造纸机械设备修理的各种定额安排
6.5 设备的报废条件和鉴定审批
6.6 设备检修周期与结构的确定
6.6.1 合理确定检查期限
6.6.2 设备修理周期的确定方法
6.6.3 制浆造纸设备的检修周期
6.7 设备修理计划的编制和执行
6.8 制浆造纸设备检修的实际内容
6.8.1 制浆造纸专业设备一级、二级保养及中修、大修内容
6.8.2 设备完好的考核办法
6.8.3 设备完好率计算公式

第7章　制浆造纸设备的更新和改造管理
7.1　设备的磨损形式
7.2　经济寿命的确定方法
7.2.1　最大总收益法
7.2.2　最小年均费用法
7.2.3　劣化数值法
7.3　制浆造纸设备大修及技术改造的技术经济分析
7.3.1　制浆造纸设备大修的技术经济分析
7.3.2　制浆造纸设备技术改造的技术经济分析
7.3.3　制浆造纸设备技术改造的工作程序
7.4　制浆造纸设备更新经济、技术分析及更新计划的编制、实施
7.4.1　制浆造纸设备更新的技术性分析
7.4.2　制浆造纸设备更新的经济性分析
7.4.3　制浆造纸设备更新计划的编制和实施
7.5　制浆造纸专用设备修理复杂系数及其计算
7.5.1　修理复杂系数
7.5.2　制浆造纸专用设备修理复杂系数的计算
7.5.3　制浆造纸设备修理复杂系数计算举例
附表
附录　设备振动诊断标准
主要参考文献